

文章编号: 2096-1618(2016)02-0213-10

HTG-3 型微波辐射计资料 在天气诊断分析中的应用研究

何毅^{1,2}, 张杰^{1,3}, 朱克云¹, 范艺¹, 许五保⁴

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国人民解放军 96211 部队, 四川 成都 610225; 3. 成都军区空军气象中心, 四川 成都 610041; 4. 北京爱尔达电子设备有限公司, 北京 100000)

摘要:为探究爱尔达 HTG-3 型微波辐射计的气象应用价值, 利用 2014 年 7、8 月该型设备在北京的试验数据, 参照同址测站逐小时天气纪要, 按照有、无对流天气过程为标准, 选取晴、雾、阴、雨、雷暴 5 种天气实例, 从温湿、能量及稳定度多方面进行天气诊断分析应用的初步研究。结果表明: (1) 该型微波辐射计探测的温湿数据基本能够反映对应天气各要素的特征及变化; (2) 湿度资料的变化能更好地预示对流性天气的临近, 尤其是低层 (<2 km) 水汽密度和积分液态水含量在对流天气发生前 1 h 左右出现明显跃升; (3) 对流有效位能 CAPE 值在对流天气发生前 3~5 h 开始出现成倍的增长并伴有大幅震荡变化; (4) 伴随对流性天气的临近, 稳定度指数值整体呈波动下降趋势, 能充分说明大气层结状态的演变, 其中 KO 值的变化幅度最大, 可降至-10 K 以下。

关键词:应用气象; 短临天气预报; 微波辐射计; 探测特征; 应用研究

中图分类号:P456.1

文献标志码:A

0 引言

探空是测量大气中各气象要素垂直分布的基本方法^[1-2], 辐射计作为一种被动式的微波遥感设备, 具有全天时、全天候不间断探测的优势^[3], 可连续反演测站上空的温湿廓线以及大气水汽总含量等数据^[4], 其高时空分辨率特点, 对于中小尺度天气系统的快速发展演变过程能进行翔实的监测, 为精细化的天气分析提供有利条件。

国外对于微波辐射计的应用研究起步较早, B. E. Mantner 等^[5]通过试验证明了辐射计拥有一定的气象应用价值; Liu G R 等^[6]通过分析不同降水条件下辐射计资料的特征, 对降水强度的评估进行研究; 现已获得大量的经验和成果^[7-9]。

中国, 雷恒池等^[10]利用 1997 年 8~11 月在陕西西安双通道地基微波辐射计降水云系探测资料, 针对降水前水汽和云中液态水含量的变化特征, 提出降水云系前方存在丰水区的假设; 唐仁茂、李德俊等^[11]利用辐射计资料, 对一次冰雹天气过程进行分析, 表明辐射计温湿资料对该天气的出现具有一定的监测和预警能力; 目前, 也已经取得不少成果^[12-15]。

针对爱尔达 HTG-3 型微波辐射计, 按照有、无对流天气过程, 选定 5 种不同天气背景, 通过温湿资料及利用 Micaps 系统中的物理量参数公式, 计算得到的不

同参量^[16], 进行实例分析。对于了解该型辐射计对应不同天气温湿数据及物理量参数的演变特征, 进而根据上述特征在天气诊断分析中进行应用, 对对流性天气的预警, 具有广泛的现实意义; 同时, 相较于气球探空, 辐射计具备隐蔽性好的特点, 还有广泛的军事应用价值。

1 资料与方法

1.1 使用资料

根据晴、雾、阴、雨、雷暴 5 种不同天气实例, 选取对应时段的辐射计温湿基础数据(40 组/小时)和上述资料在雨、雷暴天利用 Micaps 系统中的物理量参数公式计算得到的能量指数(CAPE、CIN)、稳定度指数(SI、LI、KO), 以及大气水汽总含量(IWV)^[17]和积分液态水含量(LWP)^[18](约 2400 组/小时)。其中, IWV 是用于衡量大气中气态水含量, 通常以其全部凝结成液态水的水深表示, 单位: mm; LWP 则是用于衡量大气中两点间液态水含量的多少, 单位: mm。

1.2 研究方法

在保证 HTG-3 型微波辐射计硬件指标合格, 工作状态稳定前提下, 为充分了解该型辐射计的探测特征, 进行气象应用的研究, 按照有、无对流天气过程作为标准, 根据低中高层湿度差异选取了晴(总云量≤3 成)、雾(水平能见度 3~6 km)、阴(中低云量≥8 成)作为

无对流天气过程背景;有对流天气过程又按其强弱程度,分为雨(0.25 ~ 1.0 mm/h)和雷暴(测站上空出现雷声并伴有短时暴雨);对包含上述天气过程前后温湿资料和物理量参数的变化趋势进行分析。

2 实例应用研究

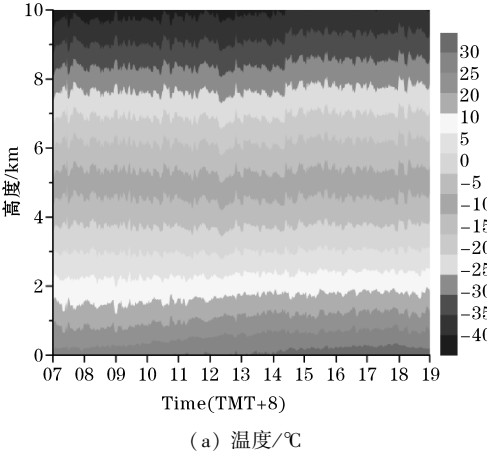
以晴、雾、阴、雨、雷暴五种天气为背景,从温湿基础数据,IWV、LWP及能量指数、稳定度指数进行实例应用研究。

2.1 晴

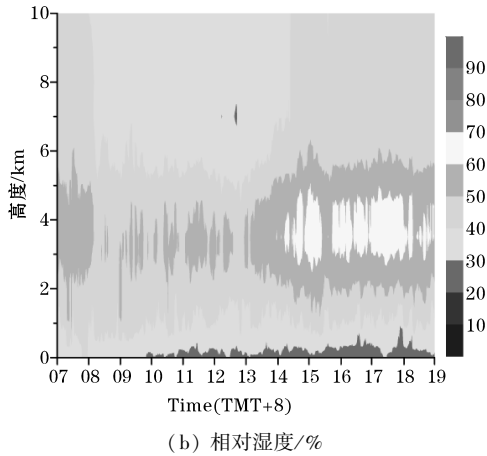
为了解晴空状态下辐射计探测特征,同时考虑到日变化的影响,选取7月12日07:00~19:00(为北京时间,下同)共计12小时的晴朗少云天气进行研究。

2.1.1 温湿基础数据

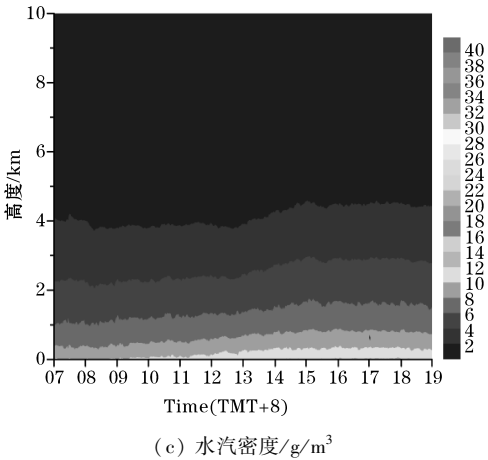
由图1(a)可见,从7:00起,随着时间的推移,受太阳辐射增温作用,9 km以上的高层以及2 km以下的低层温度有显著的上升趋势,相较而言中层大气则无明显变化。整体来看,各层温度色块分布较为均匀,由于垂直向气流作用,而存在微幅波动。其中,临近12:00,3 km以上温度色块波动变化幅度增大,说明时值正午,大气对流趋于旺盛。



(a) 温度/℃



(b) 相对湿度/%



(c) 水汽密度/g/m³

图1 晴天各要素随时间的演变

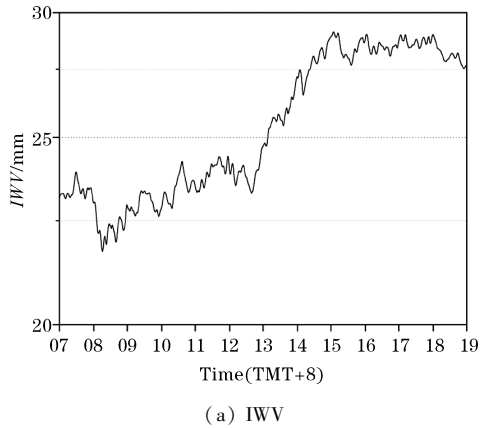
由图1(b)可见,受日变化影响,自7:00起近地层相对湿度呈持续下降的趋势,基本保持在40 %以内,400 m以下不超过30 %;同时,中高层相对湿度有明显的增长过程,受太阳辐射增温影响,水汽对流上升作用,午后2~5 km的中层大气相对湿度增大最为明显,中心数值达到60 %以上。

由图1(c)可见,高层水汽含量十分有限,中低层水汽则相对丰富,自7:00起,2 km以上的大气水汽密度在出现明显降低后维持震荡,同时,2 km以下则保持稳步增长的趋势,在12:00太阳辐射达到最强以后,整层大气的水汽密度均出现显著增长,近地面水汽密度最大值在12 g/m³左右。

综合来看,辐射计探测结果基本能够反映晴天温、湿资料的垂直分布特征以及相应气象要素的日变化趋势。

2.1.2 IWV、LWP

由图2(a)可见,受日变化影响,IWV值在7:00~9:00出现小幅下降后开始震荡上升,至12:00后,随着太阳辐射达到最强,IWV值开始了快速拉升,但都保持在30 mm以下,15:00达到极大值后,随即出现下降并在25~30 mm维持震荡下降的趋势。



(a) IWV

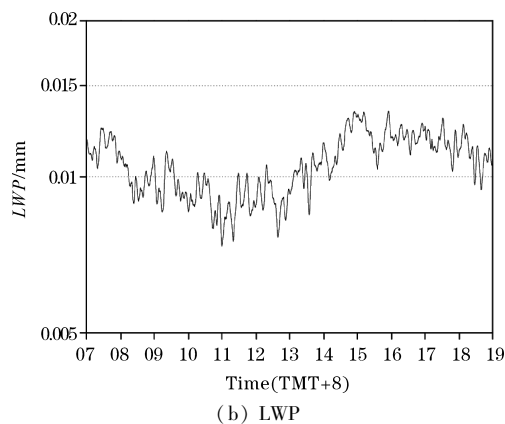


图2 晴天大气水汽总含量和积分液态水含量随时间的演变

由图2(b)可见, LWP 值同样存在明显的日变化特点,且基本都保持在 0.02 mm 以下的极低值水平震荡变化。

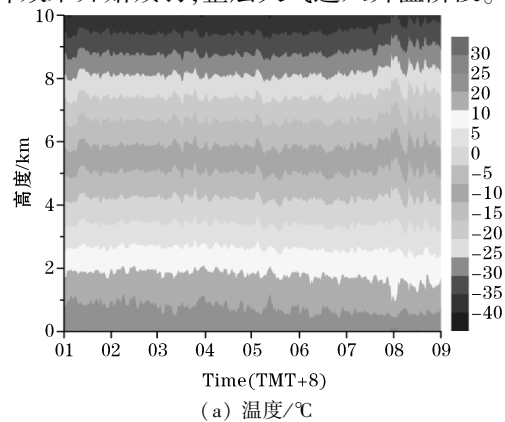
综合来看,晴天 IWV 值和 LWP 值基本维持在 30 mm 和 0.02 mm 以下的低值水平,并表现出明显的日变化特征。

2.2 雾

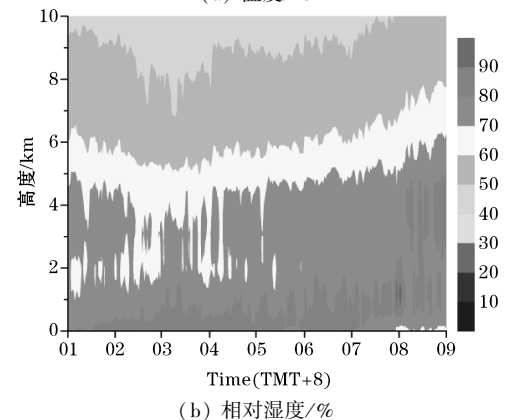
为了解在近地层空气达到饱和并出现凝结现象时辐射计探测特征,选取了7月16日01:00~9:00共计8小时的雾天进行研究。

2.2.1 温湿基础数据

由图3(a)可见,受夜间地面辐射降温影响,近地层温度高值区随时间减小,说明温度下降,高层温度色块分布均匀无明显变化。07:00后,高低层温度波动明显加剧,表明开始受到日出辐射增温的影响,地面辐射冷却效果开始减弱,整层大气进入升温阶段。



(a) 温度/ $^{\circ}\text{C}$



(b) 相对湿度/%

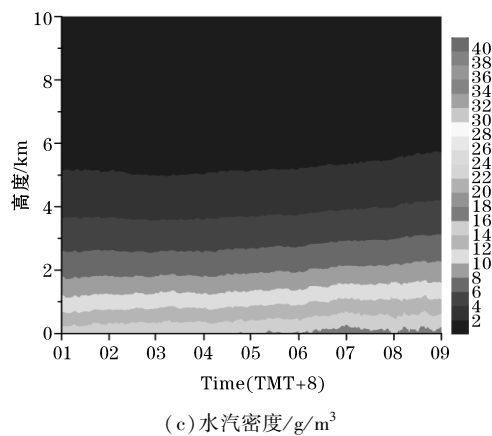


图3 雾天各要素随时间的演变

(c) 水汽密度/ g/m^3

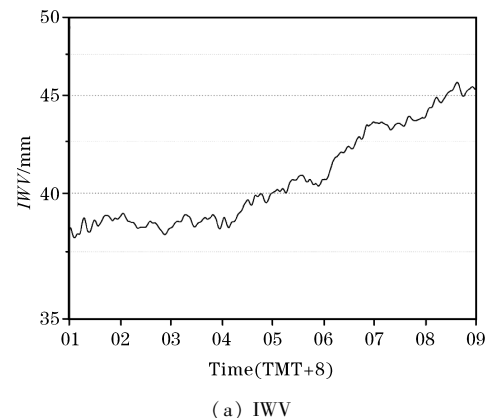
由图3(b)可见,中低空的相对湿度值明显较高空更大,凌晨后受地面辐射降温作用加深影响,从01:30开始,近地层相对湿度大值区($>80\%$)随时间整体呈扩大的趋势,伴随雾生成;07:00后,太阳辐射开始加强,近地层相对湿度大值区($>80\%$)逐渐减小并上移,说明由于增温作用,近地层的雾开始消散,水汽也蒸发上升。

由图3(c)可见,各层均无明显波动存在,较晴天而言,近地层水汽密度明显更大($>15\text{ g}/\text{m}^3$),且在凌晨后随时间整体呈增大趋势;07:00开始近地层水汽密度小幅下降后;08:00随着太阳辐射增温效果的加强,近地层水汽密度值呈波动上升,同时 1 km 以上的空中水汽值随时间呈平稳增长的走势。

综合来看,辐射计探测结果基本能够反映雾天近地层“低温高湿”的状态及温湿资料的垂直分布特征和变化趋势。

2.2.2 IWV 、 LWP

由图4(a)可见,较晴天而言,雾天的 IWV 值明显更高,凌晨后,随着地面辐射降温作用的影响,雾浓度加深, IWV 值随时间呈稳步增长的趋势,最大超过 45 mm ,08:00后随着太阳辐射增温作用的加强, IWV 值将出现震荡下行的趋势。



(a) IWV

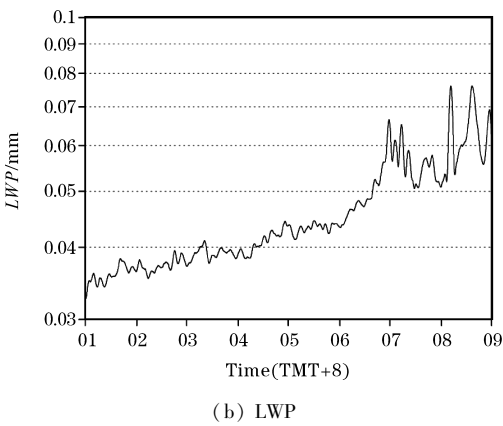


图 4 雾天大气水汽总含量和积分液态水含量随时间的演变

由图 4(b)可见, LWP 值整体较晴天明显更大, 从 0.03 mm 开始, 随时间呈增大趋势; 07:00 左右, 震荡幅度明显加剧, 随着太阳辐射增温的影响, LWP 值在达到 0.09 mm 后, 呈宽幅震荡的下降走势。

综合来看, 雾天的 IWV 值和 LWP 值均较晴天明显, 且伴随雾的生成、发展整体呈增大趋势, 随着太阳辐射加强, 雾散后, 两值均下降。

2.3 阴

为了解在空中云量较多情况下辐射计的探测特征, 同时考虑日变化影响, 选取阴天 7 月 9 日 07:00 ~ 19:00 共计 12 小时进行研究。

2.3.1 温湿基础数据

由图 5(a)可见, 在稳定性的天气背景下, 高、中、低层温度分布比较均匀, 无显著波动存在。从 7:00 起, 5 km 以上温度色块有明显倾斜, 说明高层温度随时间呈增大趋势; 中层大气则无明显变化; 2 km 以下低层清晨温度较晴天更高, 说明云量多对于地面有更好的保温效果, 同时受云遮蔽影响, 阴天大气随时间增温趋势也比晴天略弱。

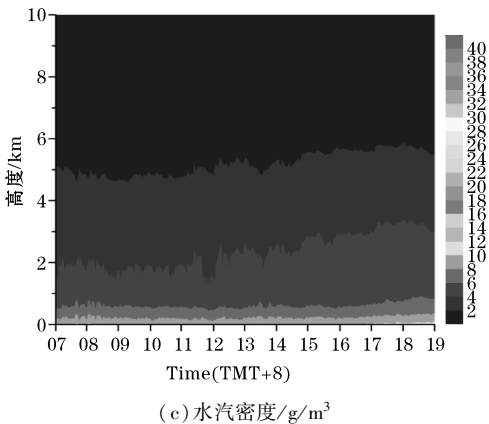
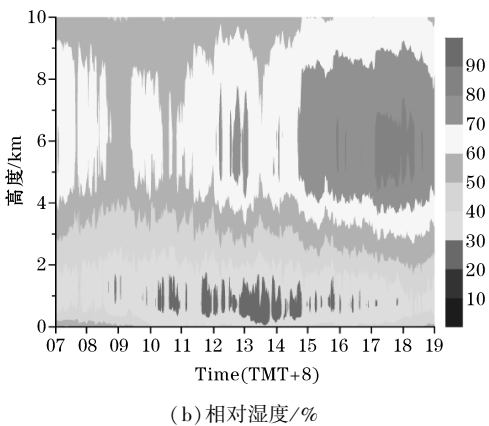
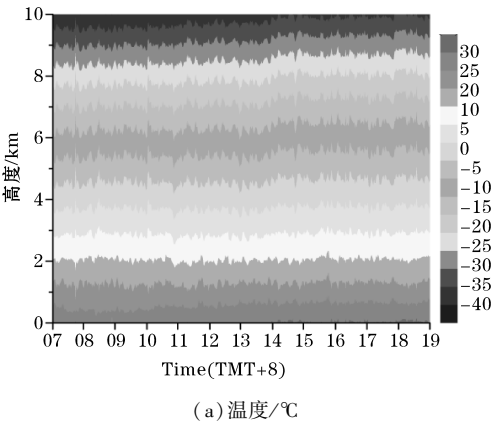


图 5 阴天各要素随时间的演变

由图 5(b)可见, 受空中云量多影响, 2 km 以下低层大气相对湿度较高空明显更低, 基本保持在 40 % 以内, 正午前后更是降至 <30 % ; 4 km 以上大气受温度的日变化作用, 午后对流发展逐步加强, 图中表现为相对湿度高值区向上扩展, 中心值变大的趋势, 14:00 后, 4 km 以上大气的相对湿度均超过了 60 % , 4 ~ 8 km 相对湿度高于 70 % 。

由图 5(c)可见, 表征 $>5 \text{ g/m}^3$ 的水汽密度色块被压缩在 1 km 以下范围 (小于晴空状态的 2 km), 且排列紧密, 说明受云遮蔽影响, 地面辐射增温效果差, 对流发展较弱; 同时, 水汽密度为 $1 \sim 5 \text{ g/m}^3$ 的色块明显更宽, 且垂向跨度更大, 最高达 7 km 左右 (晴天为 5.5 km 左右), 水汽含量较晴天更多, 正午前后, 图中色块波动开始加剧, 且呈明显倾斜状, 说明空中对流发展较强。

综合来看, 辐射计探测结果基本反映阴天温湿资料的垂直分布特征和变化趋势。

2.3.2 IWV、LWP 值

由图 6(a)可见, 受日变化影响, IWV 值在 7:00 ~ 9:00 出现小幅下降后开始震荡上升, 至正午前后, 波动加剧, 说明此时的对流作用开始加强, 至 17:00, IWV 值在达到 30 mm 左右以后开始震荡下降。

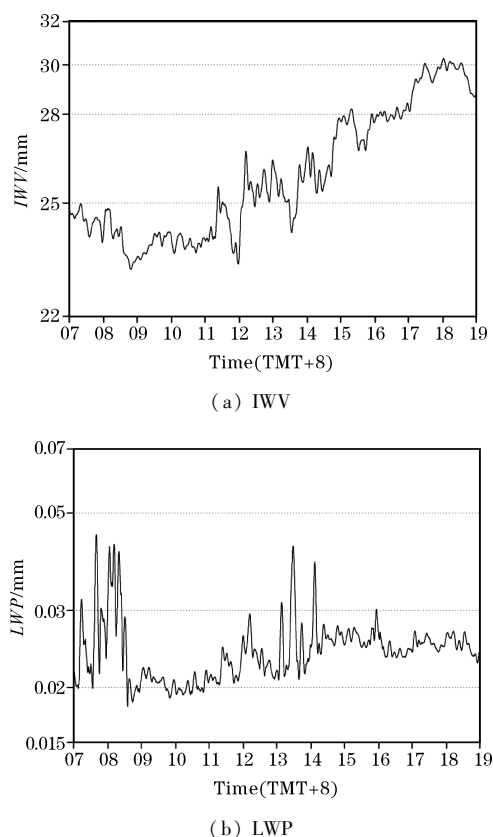


图 6 阴天大气水汽总含量和积分液态水含量随时间的演变

由图 6(b) 可见,在空中云量多时,相较于晴天, LWP 值存在更显著的日变化特征,在清晨和正午前后波动明显更剧烈;从 08:30 开始,除午后短时波动较大外,整体基本维持在 $0.015 \sim 0.03 \text{ mm}$ 范围内震荡变化。

综合来看,二者均能表现明显的日变化特征, IWV 值基本保持在 30 mm 以内, LWP 值除清晨和午后存在显著波动外,大致维持在 0.03 mm 以下。

2.4 小(阵)雨

为了解一般对流过程中微波辐射计的探测特征,以及反演资料对于出现对流性天气的预示效果,现选取 8 月 12 日 07:00 ~ 13 日 01:00 作为研究时段,其中 19:50 ~ 00:45 为小(阵)雨过程,降水量为 0.5 mm 。

2.4.1 温湿基础数据

图 7(a) 给出 8 月 12 日 17:00 ~ 13 日 03:00 含小(阵)雨过程(图中相邻虚线间为降水时段,下同)在内共计 18 小时的温度、相对湿度和水汽密度演变情况。

由图 7(a) 可见,自 07:00 起 1 km 以下近地层及 8 km 以上的高层呈明显的增温趋势,而中层大气温度变化并不明显;12:00 后近地面温度超过 30°C 并得以维持;自 17:00 起近地层温度随时间逐渐降低,高层温度则持续上升。19:50 开始受降水影响,整层大气温度的波动幅度增大。

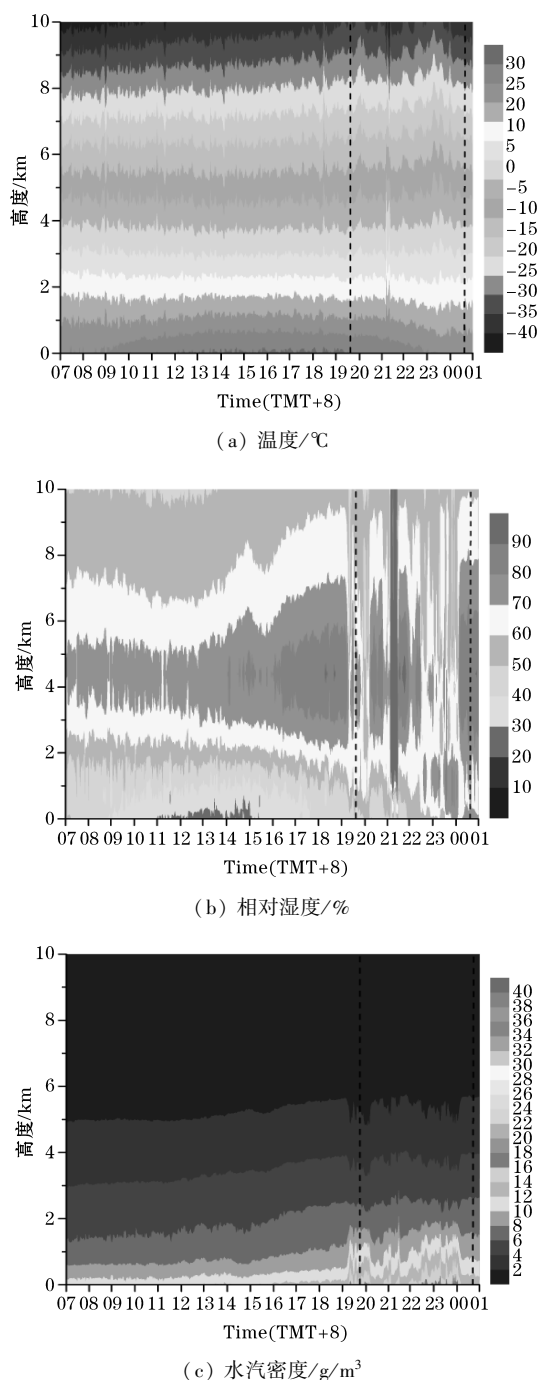


图 7 雨天各要素随时间的演变

由图 7(b) 可见,午后近地面相对湿度值一度低于 30% ,而 $2 \sim 7 \text{ km}$ 相对湿度明显较大,均在 60% 以上,随着降水临近,其区域向上、下扩展,降水开始前, $1 \sim 9 \text{ km}$ 相对湿度均大于 60% ,其中 $3 \sim 5 \text{ km}$ 为中心高值在 90% 以上。降水开始,21:00 后 1 km 以上大气达到饱和,图中呈红色条状,这可能与微波辐射计受到下落的降水粒子影响有关;22:00 后 1 km 以下的近地层相对湿度中心高值超过 80% 。降水结束后,由低层到高空的相对湿度均呈现大值状态。

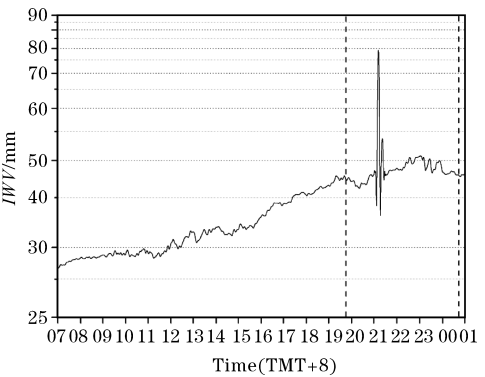
由图 7(c) 可见,19:00 临近降水, 1 km 以下低层水汽密度出现明显的跃升过程,中心值达近 17 g/m^3 ,

期间存在大幅波动,呈多峰形态,随着降水开始,由低层到高层的水汽密度值震荡变化幅度明显加剧;00:00 临近降水结束,低层水汽密度中心值从 18 g/m^3 降至 13 g/m^3 后保持稳定。

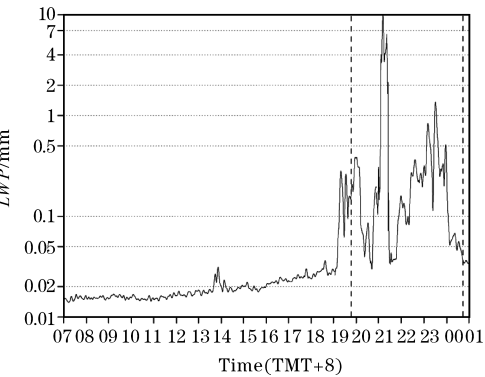
综合分析,在小(阵)雨出现前,温度场反应不敏感;相对湿度场呈“中间湿、上下干”的分布,2~7 km 的大值区在午后不断向高低层扩展,其中心值在15:00 以后超过了80%,并在16:00 后>80%高值区域持续扩大,18:00 以后中心值超过90%;整层大气的水汽密度值自07:00 起均随时间稳步增长,至降水开始前约1 h,1 km以下低层水汽密度值出现急升现象。

2.4.2 IWV、LWP

由图8(a)可见,自07:00 起,IWV 值随时间稳步增长,午后产生明显波动,仍继续维持升势,于17:30 以后超过35 mm,至降水开始前,其最大值为38 mm。随着 I 类天气开始,IWV 值出现大幅的震荡变化,最大达近80 mm,随后迅速下降,又出现二次拉升至53 mm,形成双峰形态,随即减小至38 mm后,临近降水结束维持震荡减小的变化趋势。



(a) IWV



(b) LWP

图 8 雨天大气水汽总含量和积分液态水含量随时间的演变

由图8(b)可见,自07:00 起,LWP 值由<0.02 mm 的低值状态随时间维持小幅上升趋势,午后14:00 左右出现显著波动,19:00 对应近地层水汽密度的跃升,LWP 值也快速增大至超过0.3 mm,随后出现震荡并减

小,降水开始后再次增大,呈多峰形态,与水汽密度对应;降水结束时快速下降至约0.04 mm。

综合分析,随着小(阵)雨的临近,IWV 整体上随时间增大,并在降水前2 h 超过35 mm,降水过程中呈双峰态;而 LWP 值在降水前1 h 出现快速拉升,并超过0.3 mm,在降水过程中呈多峰态;对于降水出现具有预示性。

2.4.3 能量指数

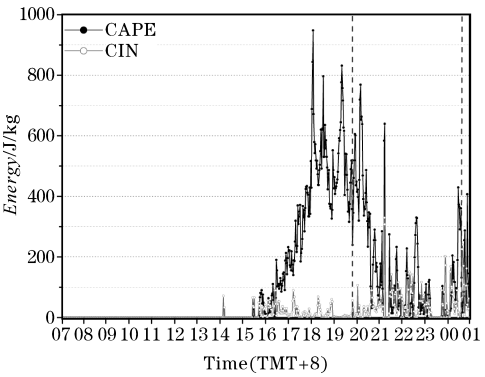


图 9 雨天能量随时间的变化趋势

由图9 可见,自15:00 起开始有 CAPE 值出现,并呈现明显的震荡上升趋势,在超过900 J/kg 后出现下降;随后保持在300~800 J/kg 波动,至降水开始时刻,CAPE 值自约800 J/kg 快速降至不足400 J/kg,说明在降水开始前,存在能量释放过程。降水过程中 CAPE 值整体维持震荡下行的趋势,同时,还伴随存在一定的对流抑制能量,CIN 值与 CAPE 值整体呈现明显的反相关变化。

综合分析,在小(阵)雨出现前,CAPE 值提前4h 开始出现快速震荡上升,于18:00 呈直线上升至超过900 J/kg 后,出现大幅震荡变化,说明降水开始前存在能量的积累和释放,CIN 值与 CAPE 值整体呈现反相关变化。

2.4.4 稳定度指数

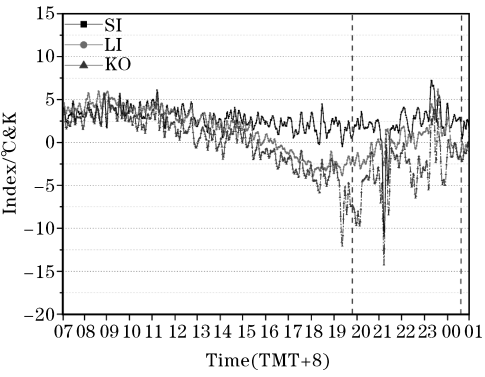


图 10 雨天稳定度指数随时间的变化趋势

由图 10 可见,自 07:00 起 SI 值基本维持在 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围震荡变化,午后 SI 值开始绕 $2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 线波动,随着降水临近波动幅度增大,最小值在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;LI 和 KO 值的变化则更为敏感,分别从 16:00 和 13:00 开始出现负值,15:00 以后下降趋势明显,降水前最小值可分别达 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 -14 K 左右。随着 I 类天气的开始,SI 值并无显著变化;LI 值和 KO 值均表现为震荡上升的趋势,但 KO 的变化幅度明显更大;对应雷暴指数出现最大值时刻,SI、LI、KO 同时出现最小值;随后快速上升并维持大幅震荡变化,临近降水结束,波动幅度减缓。

综合分析,在小(阵)雨出现前,稳定度指数随时间降低的趋势明显,尤以 LI 和 KO 指数最为显著,在降水开始前4 h就已经为负值,至2 h前分别为 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 -5 K 左右,KO 更是在降水前半小时降至 -10 K 以下。

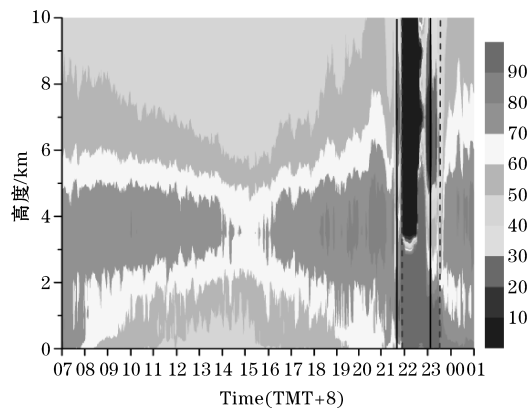
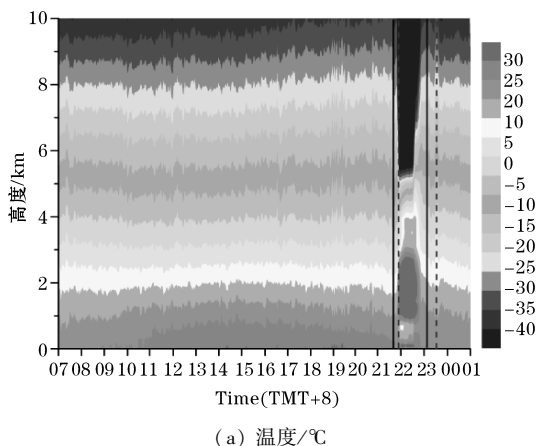
2.5 雷暴

选取受冷锋过境影响于 8 月 23 日夜间发生的短时雷雨过程作为强对流天气进行研究,其中 21:43 ~ 23:05 为雷暴,21:54 ~ 23:36 为阵雨过程;降水量为 34.1 mm 。

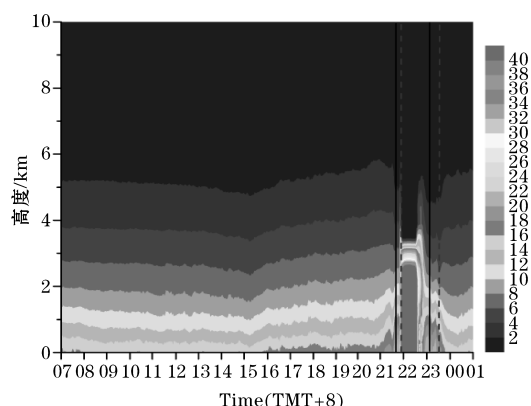
2.5.1 温湿基础数据

图 11 给出了 8 月 23 日 07:00 ~ 次日 01:00 含雷雨过程(图中相邻实线为雷暴时段,相邻虚线为降水时段,下同)发生时段共计 18 小时的温度、相对湿度和水汽密度演变情况。

由图 11(a)可见,16:00 以后,10 km 以内大气温度的波动有所加强,但近地层高温状态仍然得以持续,同时4 km 以上高空温度仍维持震荡上升趋势,21:00 以后,整层大气温度开始集体下降,表明此时已有明显的下沉气流出现,从 21:34 开始,高层温度加速下降,并在雷暴出现后达到一极小值。数分钟后降水出现,4 km 以下气层温度都出现急速拉升,而高层温度则出现大幅突降,并得以持续,随着雷雨接近结束,各气层温度开始逐渐朝过程前的状态演变。



(b) 相对湿度/%



(c) 水汽密度/ g/m^3

图 11 雷暴天各要素随时间的演变

由图 11(b)可见,08:00 后随着太阳辐射的作用加强,近地层相对湿度逐渐降低,中层大气的相对湿度则开始增加。15:00 后,中层相对湿度高值区开始向低层和高层扩展;19:00 起近地面相对湿度值 $>60\%$,同时,4 km 左右的中心值超过 80% ;雷暴在发生前,垂直方向上存在明显的“上干下湿”的分布特点,由地面向上平均相对湿度 $>70\%$ 的气层最高超过6 km,且随着雷暴的临近,相对湿度高值区域在 21:00 前后上冲至接近8 km后开始回落,与此同时,4 km 左右的中层大气进一步接近饱和,伴随雷暴降水的出现,中低气层基本达到饱和,而高层相对湿度则出现快速大幅的下降,近乎为 0。随着天气过程的推进,饱和气层由3 km 上升至5 km 高度,同时高层干区缩小,相对湿度值开始回升,临近天气过程结束,仅2 km 以下气层饱和,由2 km 往上,相对湿度存在明显的递减趋势,至5 km 以上层相对湿度值保持在 $30\% \sim 40\%$ 。随着雷雨的结束,除近地层外,各气层相对湿度开始逐步回归至雷雨前的初态。

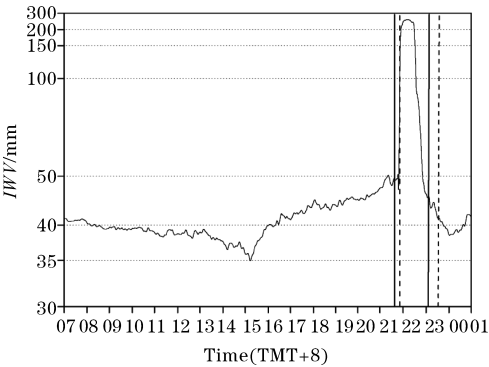
由图 11(c)可见,在 15:00 后整层大气的水汽密度呈现稳步上升的趋势,20:45 起2 km 以下水汽密度值开始加速增大,中心值超过 $18\text{ g}/\text{m}^3$ 。雷雨发生后,在 21:54 3 km 以下层水汽密度值急增,中心峰值达到

141 g/m³,该状态得以持续维持,同时高层水汽密度值近乎为0 g/m³。22:30后,3 km以上层水汽密度值开始回升,3 km以下层水汽密度值开始下降,在雷雨结束后,均存在不同程度的波动,并逐步回归雷雨发生前的稳态。

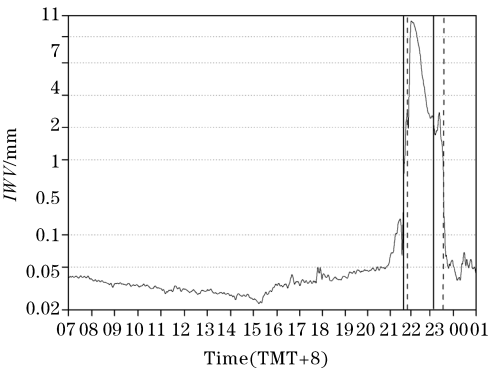
综合分析,在雷暴出现前,高低层温度等值线存在显著波动变化,说明存在显著的垂直向气流;相对湿度场整体呈“上干下湿”的分布,3~5 km的相对湿度大值区在雷暴前3 h整体高于70%;2 km以下的低层水汽密度值在雷暴前1 h加速上升,中心最大超过18 g/m³。

2.5.2 IWV、LWP

由图12(a)可见,对应水汽密度的走势,从07:00~15:00, IWV 值表现为震荡下降的趋势,在降至35 mm左右后,15:00起呈震荡上升的走势,在雷暴发生前其值约为50 mm。随着雷雨的爆发, IWV 值开始出现大幅跃升,在22:12达到并超过250 mm,呈明显单峰状,随后快速减小,至23:05雷暴结束, IWV 值为45 mm左右,随着降水临近结束持续震荡减小。



(a) IWV



(b) LWP

图12 雷暴天大气水汽总含量和积分液态水含量随时间的演变

由图12(b)可见,与 IWV 具有较为一致的走势,同样在15:00开始稳步上升,整体维持在0.02~0.05 mm,临近21:00, LWP 值增幅加大,一度超过

0.1 mm,对应雷暴前水汽密度震荡时间, LWP 值于21:30左右出现小幅回落后,继续快速增长,到雷暴发生时刻增至0.13 mm左右;在小幅震荡后,随着降水开始出现直线拉升,在接近10 mm左右,同样表现为单峰状,随后开始减小,至雷雨结束时为0.1 mm左右,并持续震荡下行。

综合分析,随着雷暴的临近, IWV 整体维持在35 mm以上,并在雷暴前3 h便超过45 mm,雷暴发生时为50 mm,降水过程中呈单峰状; LWP 值则是在雷暴前1 h达到0.05 mm,随即开始快速上升并超过0.1 mm,降水过程中呈单峰态。

2.5.3 能量指数

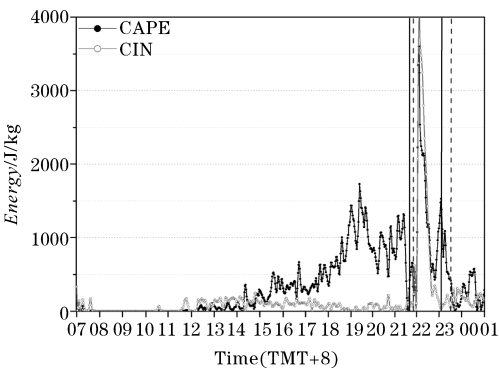


图13 雷暴天能量随时间的变化趋势

由图13可见,午后开始有对流有效位能的出现,并于15:00~17:00大致维持在250~500 J/kg维持震荡,17:00后开始快速拉升的走势,至19:30超过1500 J/kg,随后开始震荡下降;从21:00起绕1000 J/kg上下变化,临近雷暴波动幅度明显加剧,在21:30左右数分钟内由约1300 J/kg降至接近于0 J/kg,随后在雷暴发生时刻又升至700 J/kg左右,说明在雷暴发生前存在能量的快速积累和释放,随着降水的开始 CAPE 出现大幅跃升,峰值可达3500 J/kg左右,然后迅速回落,随着雷雨过程的结束, CAPE 值维持震荡减小的趋势。

同时,伴随对流有效位能还存在一定的对流抑制能量,在雷暴发生前, CIN 值与 CAPE 值呈反相关变化, CIN 值维持在250 J/kg内震荡,雷暴出现时刻约为120 J/kg,接下来, CIN 值同样出现大幅跃升的现象,相对 CAPE 值出现极大值,略有滞后,随即快速下降,在雷雨结束后, CIN 值同样表现出与 CAPE 值的反相关变化特征。

综合分析,在雷暴出现前, CAPE 值提前4 h出现快速震荡上升,并在超过1700 J/kg后,维持大幅震荡变化, CIN 值与 CAPE 值整体呈现反相关变化。

2.5.4 稳定度指数

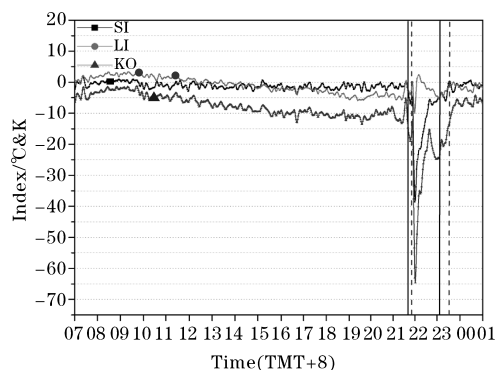


图14 雷暴天稳定度指数随时间的变化趋势

由图14可见,在雷暴发生前,SI值从07:00的正值转由维持在 $-5^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ 波动;LI值从午后开始转负,并于19:00起开始绕 -5°C 一线震荡变化;KO值自15:00以后基本维持在 -10K 下方震荡;表示大气极不稳定,多雷暴风险。在21:00以后LI和KO值均在短暂下降后出现快速上升,该现象与CAPE值在21:30降至 0J/kg 基本对应。在雷雨过程中,SI、LI、KO值波动明显加剧,均在22:00达到极小值,随后快速回升,雷雨结束后三值逐渐回归初态。

综合分析,雷暴发生前,SI自07:00起基本维持在 0°C 以下;LI在午后由正转负,并于雷暴前2h降至 -5°C 一线;KO最敏感,于雷暴前6h便降至 -10K 以下。

3 结论

(1) 在晴、雾、阴、雨、雷暴5种不同天气背景下,HTG-3型微波辐射计温湿资料基本能反映各气象要素的分布及演变特征,表明该型辐射计具有极高的气象应用价值。

(2) 辐射计温湿资料均能不同程度地反映对流天气的临近,相较于温度资料而言,湿度资料的反应更为敏感,尤其是水汽密度和LWP在对流天气发生前1h左右开始出现跃升过程,可作为很好的判据使用。

(3) CAPE值在对流性天气出现3~5h前出现成倍增长及大幅震荡变化,并于1~2h前快速下降,说明天气过程前存在明显的能量积累和释放,可作为对流天气临近的判据使用;同时伴随出现的CIN值与CAPE值整体呈现反相关变化。

(4) 稳定度指数(SI、LI、KO)的波动变化,可充分反映大气层结状态的演变,其中KO值的变化幅度最大,可降至 -10K 以下,对于包括小(阵)雨、雷暴等对流天气过程的临近有较好的预示性。

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, 1983.
- [2] 廖国男. 大气辐射导论[M]. 北京: 气象出版社, 2004.
- [3] Robert H Dicke. The measurement of thermal radiation at microwave frequencies[J]. The Review of Scientific Instruments, 1946, 17 (7): 268-275.
- [4] 黄建平, 何敏, 阎虹如, 等. 利用地基微波辐射计反演兰州地区液态云水路径和可降水量的初步研究[J]. 大气科学, 2010, 34(3): 548-558.
- [5] B E Mantner, D B Wuertz, B B Stankov, et al. An Evaluation of Wind Profiler, RASS, and Microwave Radiometer Performance[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1993, 74 (4): 599-613.
- [6] Liu G R, Liu C C, Kuo T H. Rainfall intensity estimation by ground-based dual-frequency microwave radiometers[J]. Journal of Applied Meteorology, 2001, 40(6): 1035-1041.
- [7] Laura Bianc, Domenico Cimini, Frank S Marzano, et al. Combining Microwave Radiometer and Wind Profiler Radar Measurements for High-Resolution Atmospheric Humidity Profiling[J]. Journal of atmospheric and oceanic technology, 2005, 22 (7): 949-965.
- [8] Sabatino Di Michele, Peter Baue. Passive microwave radiometer channel selection based on cloud and precipitation information content[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2006, 132(617): 1299-1323.
- [9] Alia Iassamen, Henri Sauvageot, Nicolas Jeannin, et al. Distribution of Tropospheric Water Vapor in Clear and Cloudy Conditions from Microwave Radiometric Profiling[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2009, 48: 600-615.
- [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(z1): 73-79.
- [11] 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.
- [12] 郑柞芳, 刘红燕, 张秀丽. 局地强对流天气分析

- 中非常规探测资料[J]. 气象科技, 2009, 37(2): 243-247.
- [13] 黄建平, 何敏, 阎虹如, 等. 利用地基微波辐射计反演兰州地区液态云水路径和小时降水量的初步研究[J]. 大气科学, 2010, 34(3): 548-558.
- [14] 姚作新, 吕鸣, 贺晓东, 等. MP-3000A 型地基微波辐射计在乌鲁木齐探空站的辅助性探测研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(1): 38-43.
- [15] 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初探[J]. 广东气象, 2013, 35(3): 49-53.
- [16] 刘建文, 郭虎, 李耀东, 等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [17] S Heise, G Dick, G Gendt, et al. Integrated water vapor from IGS ground-based GPS observations: initial results from a global 5-min data set[J]. Annales Geophysicae, 2009, 27: 2851-2859.
- [18] 陈洪滨. 测量云液水柱含量的一个设想[J]. 大气科学, 2002, 26(5): 695-701.

The Application Research on Weather Diagnostic Analysis Using HTG-3 Microwave Radiometer Detecting Data

HE Yi^{1,2}, ZHANG Jie^{1,3}, ZHU Ke-yun¹, FAN Yi¹, XU Wu-bao⁴

(1. Plateau Atmospheric and Environmental Laboratory, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. The 96211 Troop of PLA, Chengdu 610225, China; 3. The Meteorological Center of Air Force, Chengdu Military Region, Chengdu 610041, China; 4. Beijing Airda Electronic Equipment co. LTD, Beijing 100000, China)

Abstract: To explore the meteorological application value of Airda HTG-3 microwave radiometer. In this paper, using the MWR's test data in Beijing of July and August in 2014, on the basis of the presence of convective weather or not, selecting five different weather background examples for the application research on weather diagnostic analysis with reference to one by one hour weather report at the station. In the first place, the results show that the MWR's temperature and humidity data are basically able to reflect the characteristic and evolution of each element in the corresponding weather. Secondly, the change of the humidity data is better to predict the approach of convective weather, especially the value of the water vapor density below 2000 metres and LWP will jump in one hour before convective weather happening. Thirdly, the value of CAPE will increase two times or more and accompany by sharp oscillation in 3 to 5 hours before convective weather happening. Finally, the value of stability indexes change with the approaching of the convective weather, which can fully reflect the evolution of the state of atmosphere. The change of KO is biggest among these indexes, it can drop to -10 k.

Key words: applied meteorology, short-impending forecast, microwave radiometer, detecting characteristics, application research