

文章编号: 2096-1618(2018)01-0054-08

# 微波辐射计对昆明雾天的监测及应用

欧映瑜, 朱克云, 张杰, 郑佳锋, 谢慧玲

(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)

**摘要:**为分析微波辐射计在雾天探测的气象应用价值,利用昆明机场 HTG-4 型微波辐射计 2016 年 1-4 月的探测数据,参照同址测站逐小时天气纪要,将昆明雾天分为锋面雾和辐射雾两种天气实例,分别从温湿、水汽含量等方面对雾天的监测和分析进行研究。结果表明:(1)辐射计温度的高度廓线随时间的变化能较准确地反映静止锋锋区的空间结构及随时间的演变特征,近地面逆温层的生消与机场辐射雾发生发展消亡的过程吻合;(2)在大雾发生之前,辐射计显示机场区域从地面到空中的相对湿度和绝对湿度都保持在大值区;(3)液态水廓线的变化能反映出雾天发生过程中冷暖平流的变化情况;(4)在大雾发生前半小时,液态水路径会发生突变,综合水汽含量也保持在大值区,可作为预报大雾发生时的重要标准。

**关键词:**应用气象;短临天气预报;微波辐射计;锋面雾;辐射雾;温湿数据监测;长水机场预报

**中图分类号:**P456.1

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2018.01.011

## 0 引言

大雾是贴地层空气中悬浮有大量小水滴或冰晶微粒而使水平能见距离降到1000 m以内的天气现象。雾是影响航空飞行安全的最大的危险天气,大雾使能见度下降,从而影响航空器起降,给飞行员操作带来困难,当能见度低于飞行器起降标准时使得航空器无法起降,造成航班延误,影响航班计划的顺利正常运行。昆明长水机场是国内最繁忙的国际机场之一,昆明长水机场自2012年启用以来,大雾天气给机场的航空运输造成过重大影响,甚至引发过群体事件。基于这种情况,开展昆明雾天的监测研究非常必要。

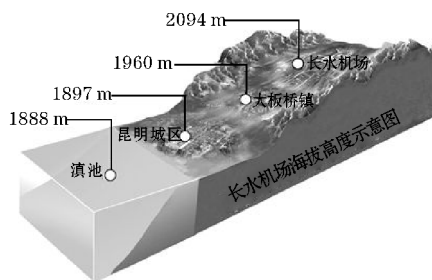


图1 长水机场海拔高度示意图

就地势图来看,长水国际机场介于昆明和嵩明之间,而机场的海拔比昆明城区和嵩明的海拔都要高(昆明城区平均海拔为1897 m,而长水机场的海拔约为2100 m)。而机场比附近地势相对又较低,机场西部、西北部的最高点约2200 m,东部、东南部达到

2500 m。所以,当大面积的冷空气从西北方向缓慢而来,越过机场西北部的高点,按照冷空气爬升在半山腰会出现雾天的规律,机场附近容易产生大雾天气,如图1所示。

昆明长水机场产生大雾的主要类型分为锋面雾和辐射雾,发生的主要原因是由于昆明准静止锋的影响和夜晚辐射降温的作用,锋面雾发生时常伴有明显的天气系统,在准静止锋的摆动下形成大雾天气,而辐射雾的天气形势比较稳定,主要由温度变化引起。作好大雾的预报一直是广大航空气象工作者十分关心的问题,本文旨在通过利用辐射计的温湿数据对大雾天气的气象要素特征进行分析,为提高长水机场雾天的预警预报提供参考。

微波辐射计是被动式地基微波遥感设备,具有全天时、全天候不间断探测的优势,利用接收各个高度传来的不同频率的微波辐射信号-大气的辐射亮度温度,可以反演得到从地面至10 km高度的温度、湿度和水汽廓线资料,弥补常规探空观测时空密度的不足,用来分析降水过程和对流层快速变化的热力学信息,监测大气中、小尺度温度和水汽的快速变化,为各类天气的分析提供了有利条件。

目前,微波辐射计的应用已越来越受重视,并率先在国外得到研制和研究<sup>[1-2]</sup>,Chan<sup>[3]</sup>利用微波辐射计反演的温、湿廓线确定 Richardson 数和 K 指数,监测大气稳定性和预测短时降水;Bianco<sup>[4]</sup>利用风廓线雷达和微波辐射计联合反演高垂直分辨率的湿度廓线。并且国内外的大量工作已证明,探测水汽和云液水波段的双波长(0.85 cm 和1.35 cm)地基微波辐射计,在

收稿日期:2017-09-21

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(91537214)

晴空和非降水云天的探测原理和方法已日趋成熟,探测水汽总量的精度可与探空相比,云液水总量也有较好的精度<sup>[5-6]</sup>。微波辐射计在遥感监测雾的形成和发展过程方面更具优势,Ware等在研究2001年2月16日发生在科罗拉多州Boulder市的一次上坡雾过程中,对比了MM5模式预报和微波辐射计探测的温、湿度和液态水廓线结构,结果表明,微波辐射计可以清晰地反映雾的温、湿度结构和液态水含量的垂直结构,而模式预报的却是云过境的过程。Knupp<sup>[7]</sup>等在研究Ware等同一个例中发现相对湿度和柱含水量的急剧变化指示了雾的形成和发展。

采用微波辐射计进行遥感探测,不仅能自动连续测量、监视天气的演变过程,而且可以节省大量的人力、物力,这对昆明长水机场雾天的监测及应用研究不仅有很强的针对性和实用性,而且和常规探测相比还具有一定的创新性。主要通过选取的两个典型锋面雾和辐射雾的个例,通过其环流背景和探空图上温湿特征的分析,得到常规探测雾天的温湿数据的变化特征,再利用微波辐射计探测的时间连续性和空间高密度性,对该雾天发生之前的温湿数据进行监测和分析,主要通过辐射计的温湿数据、液态水廓线、液态水路径(LWP)、综合水汽含量(IWV)等产品对雾天的温湿情况进行分析,从而得出辐射计在探测雾天时温湿数据的变化特征,以及对其雾天发生时的预报特性,体现其在雾天探测时的可靠性和创新性。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料介绍

所用的资料包括:(1)昆明长水机场2016年1-4月的辐射计温湿资料;(2)2016年昆明长水机场天气纪要;(3)2016年1-4月micaps资料。

### 1.2 研究方法

辐射计主要通过反演亮温数据得到温湿产品,辐射计数据密度高,连续性强,其产品主要包括温度廓线、湿度廓线、液态水廓线、液态水路径(LWP)、综合水汽含量(IWV)等,通过这些数据产品对天气进行监测与应用分析。

通过对昆明长水机场的天气纪要和2016年1-4月micaps资料的分析,筛选出两个典型的雾天个例,分别为锋面雾和辐射雾,之后利用昆明长水机场的辐射计温湿资料对其进行研究分析,得到雾天温湿情况的变化过程以及预报指标。

## 2 昆明雾天的环流背景及温湿特征

雾天发生发展过程中,其温湿特征、大气环流背景会有相应的变化,对雾天的发生发展有一定的指示作用,以下对所选取的雾天天气进行特征分析和环流背景分析。

### 2.1 锋面雾

锋面雾是在两种气团之间的锋面上,由于气团混合的结果而形成的雾。昆明长水机场地处低纬高原,位于昆明东北方向,由于其特殊的地理位置较易受东北面冷空气影响,再加上机场周围下垫面较湿润,地形的抬升作用,随着云贵准静止锋西进影响昆明地区,昆明长水机场易产生锋面雾天气,2016年2月2日为选取的锋面雾个例。

#### 2.1.1 锋面雾环流背景

利用micaps资料,对2月2日两次大雾发生前时刻做大气环流分析,分析在08时和20时500 hPa高度场、风场、850 hPa风场、温度场、地面场的大气环流形势以及锋面的变化。

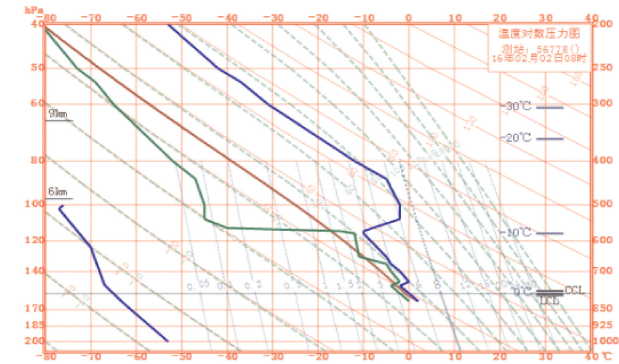
分析环流背景图可知(图略),在500 hPa高度层上,08时和20时,为大雾发生前时刻和发生时时刻,500 hPa高度层上中国西部,云南上空大体的环流趋势比较稳定,整体为平直西风气流;在850 hPa高度层上,在08时刻,昆明长水机场东侧为冷高压控制,西侧为热低压控制,昆明准静止锋加强,20时,昆明长水机场东侧冷高压减弱并向西移动,此时,昆明长水机场主要为暖气流所控制;在地面图上,08时,有24小时正变压由四川盆地向云南贵州方向移动,将冷空气带入云南地区,20时冷空气逐渐减弱,云南地区由暖气流控制,锋面位于冷高压西侧密集的等压线内,随着冷空气的入侵和减弱南北移动。

#### 2.1.2 锋面雾特征分析

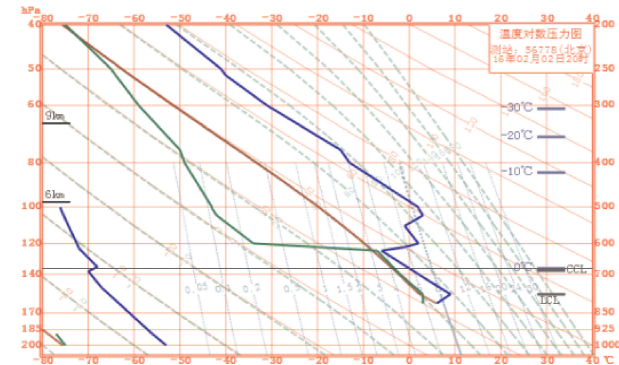
2016年2月2日,昆明长水机场出现了两次大雾过程,出现大雾的时刻分别为11:17-11:26,19:43-22:43(北京时间),对当日08时和20时探空图进行分析如图2所示。

由图2探空图可知,在08时和20时,为第一次大雾发生前时刻和第二次大雾发生前时刻和发生时时刻。由图2(a)可知,第一次大雾发生前,500 hPa以下为双逆温层结构,且逆温层底较低,最低逆温层底在753 hPa高度,且低层湿度大,在600~800 hPa湿度>84%,高层为干层;由图2(b)可知,第二次大雾发生前和发生时时刻,500 hPa为三逆温层结构,最低逆温

层底较低,最低逆温层底在811 hPa高度,且低层湿度大,在600~800 hPa相对湿度平均大于80%,高层湿度较低,为干区,有利于大雾的生成和发展。



(a) 08 时探空图



(b) 20 时探空图

图2 2月2日探空图(蓝色廓线为温度廓线,绿色廓线为露点廓线)

2.2 辐射雾

辐射雾是晴朗少云夜间或清晨,由于地表面辐射降温,使近地面空气中的水汽达到饱和而形成的。当近地面层水汽充沛、气层比较稳定或有逆温层、微风有适度的垂直混合作用时,有利于形成辐射雾,2016年2月28日为选取的辐射雾。

2.2.1 辐射雾环流背景

对2月28日发生的雾天过程进行大气环流背景的分析,雾天发生时刻为00:00–07:40(北京时间),所以对2月27日20时和2月28日08时500 hPa高空图,地面气压图进行分析。

分析环流背景图(图略)可知,在辐射雾发生前和发生时刻,500 hPa高度上,主要呈一脊一槽的环流形势,云南地区在雾天发生阶段,有深厚的南支槽过境,云南地区处于槽后脊前,主要由西北气流控制,为云南地区带来干冷空气;在辐射雾发生前和发生时刻,地面气压图上云南地区气压场较均匀,位于向东移动减弱的冷高压后部。

2.2.2 辐射雾特征分析

2016年2月28日,昆明长水机场出现了一次雾天过程,根据天气纪要表得知,在该雾天过程中,风速小,夜间晴朗无云,温度减小,为辐射雾特征,且出现雾的时刻为00:00–07:40(北京时间),对当日08时探空图进行分析如图3所示。

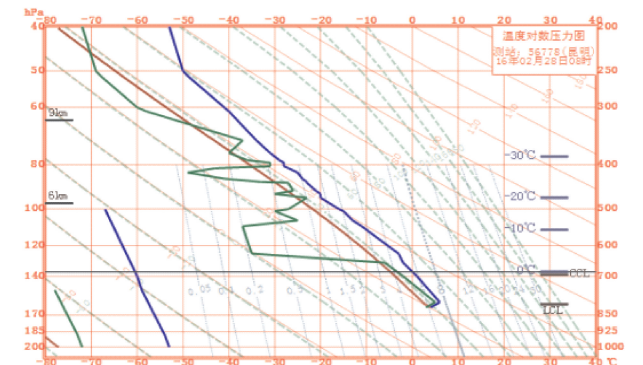


图3 08 时探空图(蓝色廓线为温度廓线,绿色廓线为露点廓线)

由图3可知,在雾发生过程中,在近地层有一明显逆温存在,逆温层底为818 hPa,且低层相对湿度大,在700~800 hPa,平均相对湿度>85%,最大湿度为93%,中高层500~700 hPa为一干区,在500 hPa以下,大气层结呈上干下湿的状态,有利于雾的发生和发展过程。

3 雾天演变过程分析

通过前面的分析,在雾天发生和发展过程中,温湿数据有明显的变化,故利用辐射计数据,对所选取的锋面雾和辐射雾个例的温湿数据变化进行分析。

3.1 锋面雾演变过程分析

2016年2月2日,昆明长水机场出现了大雾过程,2日天气纪要见表1,表1中所示时间和分析过程中的时间均为世界时,2日存在轻雾和雾、毛毛雨、冻雨。

3.1.1 温度场特征

从图4的温度廓线图得知,低层2000 m以下,从03时开始,出现升温,尤其05时以后,升温高度不断加厚,这说明暖空气加强,静止锋在04:00–05:00过本站(由南向北)。15时以后,受辐射冷却的影响,低层出现降温,说明冷空气加强,静止锋又由北向南过本站。在03时的温度廓线图上,还存在双逆温结构。低层的逆温层,其底部位于700 m左右,顶部位于1500 m左右,逆温层厚度700~800 m,逆温层顶和底的温差约3℃。逆温层底以下空气达到饱和(温度露点曲线重合)。在10:00和20:02时的温度廓线图上,低层的逆温层消失,但1000 m以下的低层仍然保持高湿(温度露点差



很小)。从逆温层底部(763 m)和顶部(1309 m)处的温度时间序列图上看,在 2 日 03 时以后,温度迅速升高,11 时达到最高,然后维持在 1℃ 内波动。值得注意的是,在出现大雾的时刻(03:17–03:26,11:43–14:43)要么是存在低层逆温层(见 03:00 温度廓线图),要么是在温度上升到最高点后的稳定阶段。

表 1 2016 年 2 月 2 日昆明长水机场天气纪要

| 观测指标 |   | 参数                   |     |     |     |     |     |      |      |
|------|---|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| 时次   | 17  | 18                   | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24   | 1    |
| 云况   | 3St   | 3St120<br>8SC<br>900 | 3St | 3St | 3St | 3St | 3St | 3S   | 3St  |
|      | 120   |                      | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | t120 | 120  |
|      | 8Sc   |                      | 8Sc | 8Sc | 8Sc | 8Sc | 8Sc | 8Sc  | 8Sc  |
|      | 1100  |                      | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 | 900  | 900  |
| 时次   | 2   | 3                    | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9    | 10   |
| 云况   | 3Fs   | 3Fs                  | 3Fs | 3Fs | 3Fs | 3Fs | 2Fs |      |      |
|      | 60  | 60                   | 60  | 60  | 60  | 90  | 90  |      | 3Cu  |
|      | 4Fs   | 4Fs                  | 4Fs | 4Fs | 4Fs | 4Fs | 4Fs | 3Sc  | 800  |
|      | 90  | 90                   | 90  | 90  | 90  | 150 | 200 | 900  | 3Sc  |
|      | 8Sc   | 8Sc                  | 8Sc | 8Sc | 8Sc | 8Sc | 8Sc |      | 1400 |
| 云况   | 900   | 900                  | 900 | 900 | 900 | 900 | 900 |      |      |
|      |   |                      |     |     |     |     |     |      |      |
|      |   |                      |     |     |     |     |     |      |      |
|      |   |                      |     |     |     |     |     |      |      |
| 时次   | 11  | 12                   | 13  | 14  | 15  | 16  |     |      |      |
| 云况   | 2Fs   | 4Fs                  |     |     |     |     |     |      |      |
|      | 90  | 90                   | FG  | FG  | 4Fs | 4Fs |     |      |      |
|      | 8Cu   | 2Cu                  | 60  | 50  | 150 | 150 |     |      |      |
|      | 800   | 900                  |     |     |     |     |     |      |      |
| 天气现象 | BR16 <sup>00</sup> –(1100)00 <sup>51</sup> –FG(900)03 <sup>17</sup> –(700)03 <sup>26</sup> –BR(1200)06 <sup>22</sup> –(1600)07 <sup>17</sup> –(1100)11 <sup>27</sup> –FG(700)11 <sup>43</sup> –(300)12 <sup>30</sup> –(200)13 <sup>55</sup> –(900)14 <sup>43</sup> –BR(3200)15 <sup>17</sup> –16 <sup>00</sup> –DZ21 <sup>04</sup> –21 <sup>40</sup> (BR 轻雾,DZ 毛毛雨,VG 雨淞)VG |                      |     |     |     |     |     |      |      |
| 日降水量 | 0.0 mm  |                      |     |     |     |     |     |      |      |

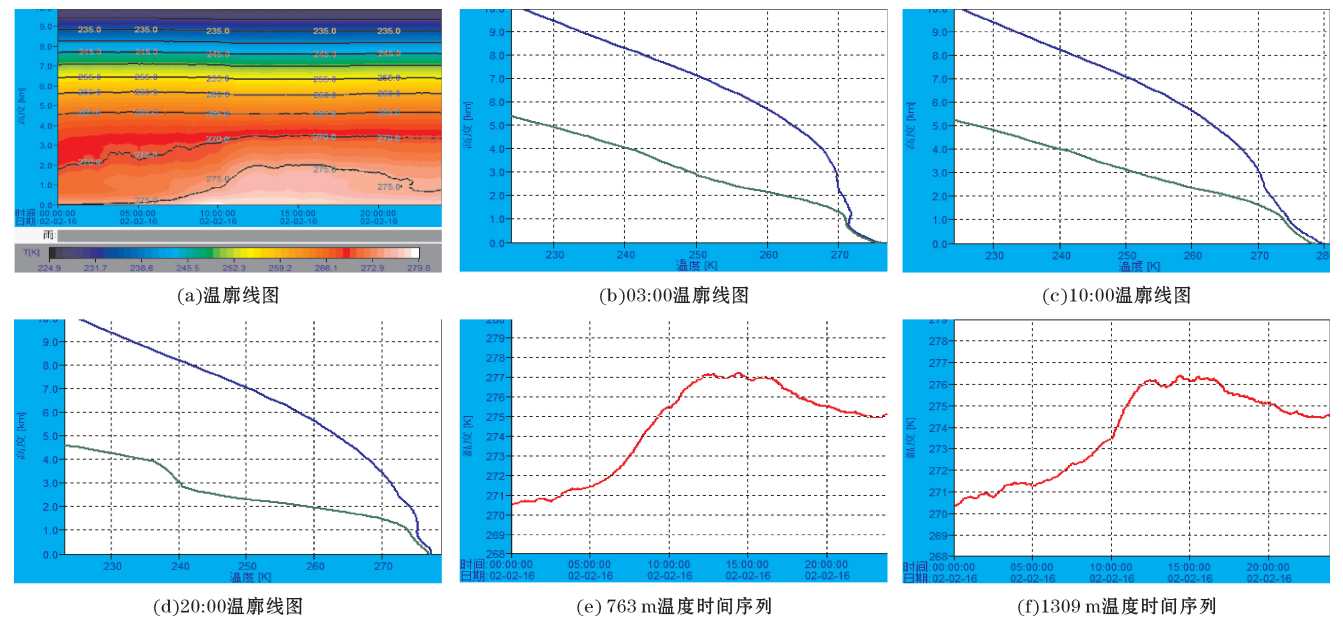


图 4 大雾过程 2 月 2 日温度廓线及温度时间序列图(蓝色线和红色线为温度廓线,绿色线为露点温度廓线)

3.1.2 湿度场特征

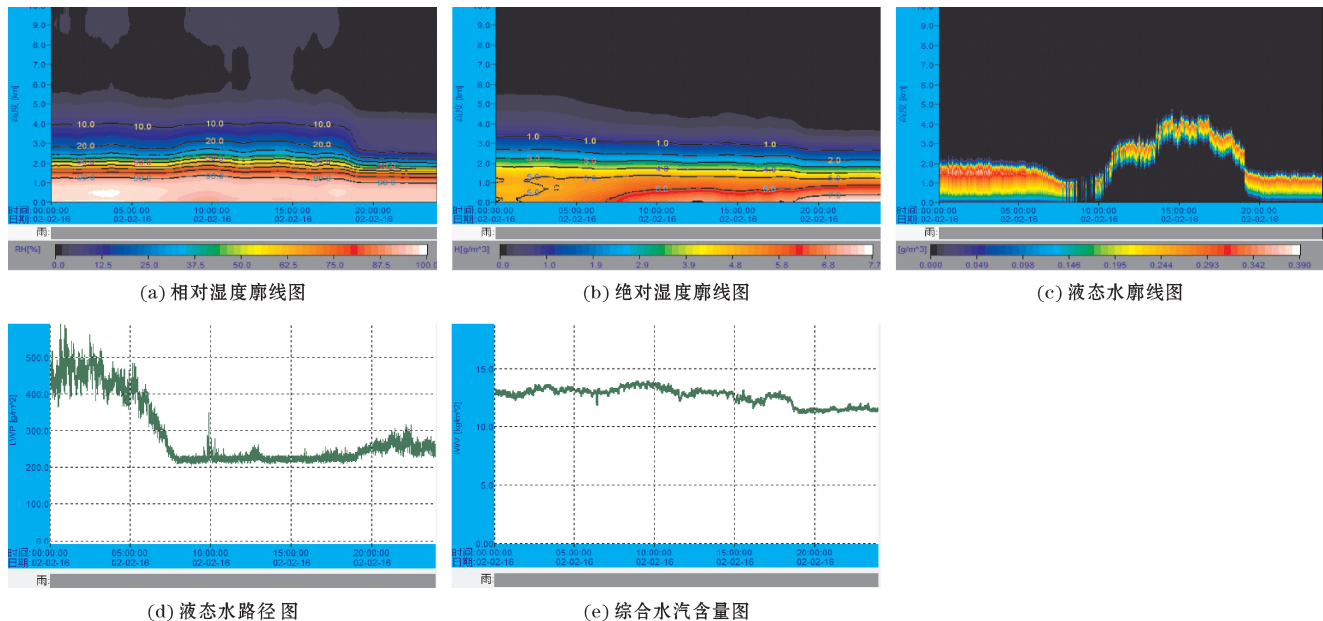
图 5 为 2 月 2 日大雾过程的湿度产品图。从图 5 (a) 相对湿度廓线图中得知,2 月 2 日当天近地层相对湿度都保持在大值区,几乎达到 100%,从图 5 (b) 绝对湿度廓线图中看出,2 月 2 日全天是 2000 m 以下绝对湿度大,而且从 07 时以后近地面层逐步增大,在 18 时以后超过了 7 g/m<sup>3</sup>。

从图 5 (c) 液态水廓线图上可以看出,1 日全天到 2 日 7 时,低层(1500 m 以下)为高含量区。2 日 8 时,低层液态水消失,突然跃升在 2~4 km 高度,或许其原因是低层可能是固态,而中高层由于暖空气强而呈液态。

从图 5 (d) 液态水路径图中得知,2 日从 03 时开始,从 450 g/m<sup>2</sup> 迅速下降到 230 g/m<sup>2</sup> 后稳定。雾在液



从图 5(e)综合水汽含量图中得知,在大雾发生当天,综合水汽含量保持在较高值 $13 \text{ kg/m}^2$ 。



### 3.1.3 小结

从温度场分析可以看出,2月2日低层暖空气加强,静止锋由北向南摆动,造成两次移过测站。2日温度廓线图上可以看出,2800 m以下均有双逆温层,有利于大雾的生成和发展过程。

从湿度场可以看出,此次过程湿度非常大,相对湿度达到96 % ~ 100 %, 2 日最小时也有 92 %。综合水汽含量维持在 $14 \text{ kg/m}^2$ 左右,仅有小幅波动。

液态水含量的变化,能大体反映出当时冷暖平流的变化情况。

液态水路径 2 日在  $200 \text{ g/m}^2$  左右。但当液态水路径的值较大,且持续增大到很大值时,若出现急剧下

降,半小时后将出现雾。

大雾过程中,冷空气势力弱(暖性),能见度差(最差200 m)。第一次雾消散原因是暖空气加强升温所至,第二次是因冷空气加强而消散。

上述分析表明,辐射计能准确地反映测站受雾影响的气象要素特征。

### 3.2 辐射雾演变过程分析

2016年2月28日,昆明长水机场出现了雾天过程,其天气纪要见表2,表中时间和分析过程中的时间均为世界时。

表2 昆明长水机场2016年2月28日天气纪要表

[illegible]

3.2.1 温度场特征

从图6(a)可以看出,中高层温度廓线层结稳定,在近地层1 km以下,从 27 日11 时开始,到 28 日16 时,温度由于地表辐射降温的作用,温度明显降低,且在雾发生前,由图 6(b)可以看出,1 ~ 2.3 km空气达到饱和,随后雾天发生;在雾天发生过程中,由天气纪要表中能见度中的变化可以看出,雾天发生过程中,在

21 时雾天能见度最低,雾天过程加重,由图 6(c)可以看出,在近地层70 ~ 150 m处有一逆温层存在,逆温层厚度为 80 m,逆温层顶和底的温度差为 1 ℃;从图 6(d、e)看出,在 2 日 20 时以后,温度升高,21 时达到最高,然后维持在 1℃内波动,这说明在雾天能见度降低的时刻,辐射计能准确监测到低层逆温层的存在。

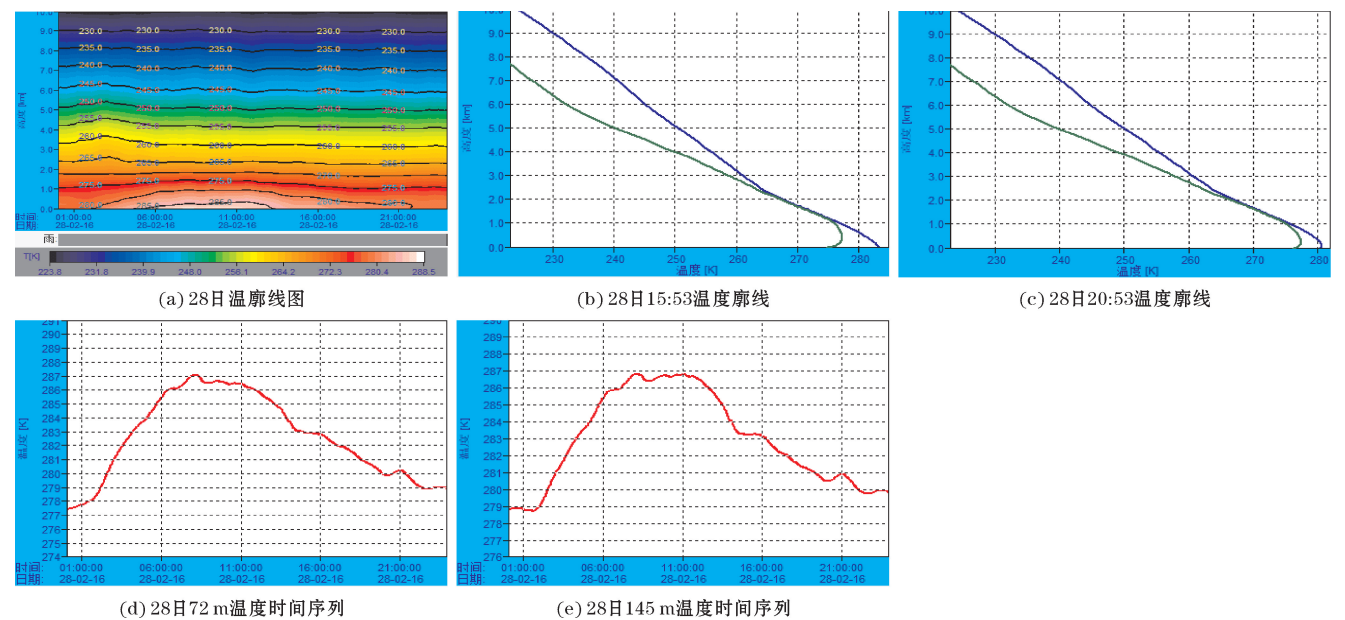


图 6 雾天过程 2 月 28 日温度廓线及温度时间序列图(蓝色线和红色线为温度廓线,绿色线为露点温度廓线)

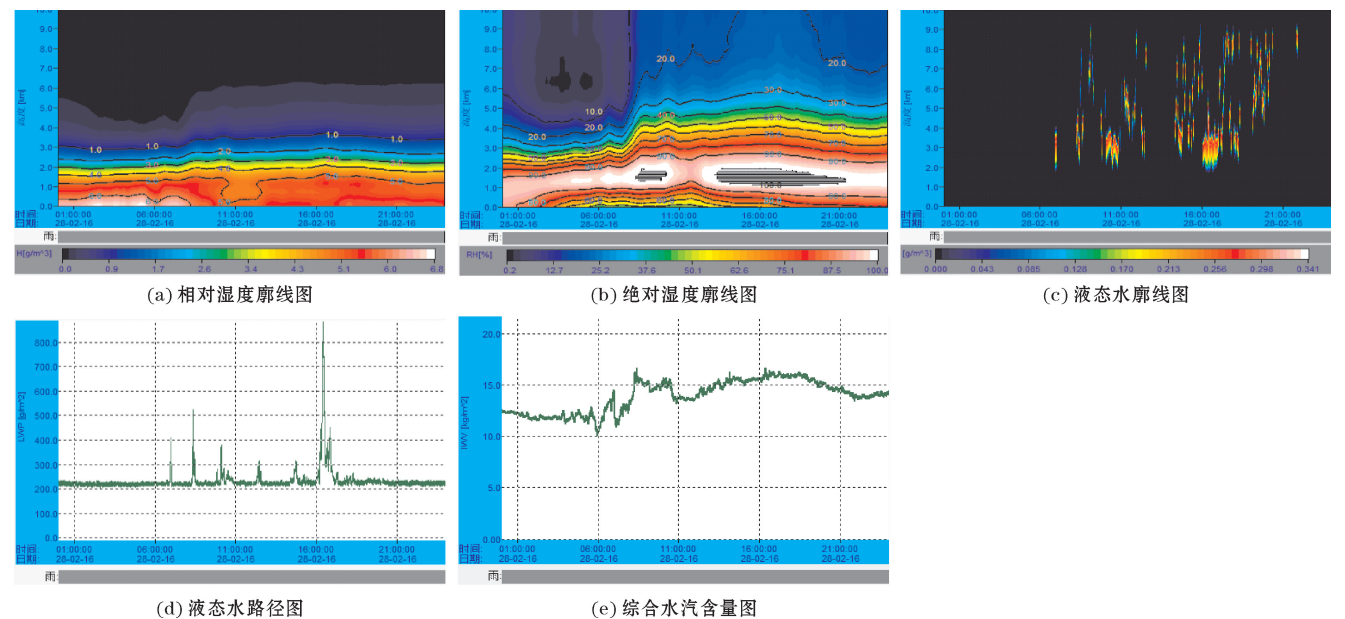


图 7 雾天过程 2 月 28 日湿度廓线、液态水廓线、液态水路径、综合水汽含量图

3.2.2 湿度场特征

图 7 为 2 月 28 日雾天过程的湿度图。从图 7(a)得知,2 月 28 日全天是 2000 m 以下湿度大,而且在 16 时之前近地面层的相对湿度逐步增大,在 13 时以后,雾天发生前和发生过程中,近地层相

对湿度达到了 100%; 图 7(b)可以看出,28 日全天绝对湿度较大,在雾天发生前后,绝对湿度都保持在较高的值,大约为  $5.5 \text{ g/m}^3$ ; 从图 7(c)可以看出,在高层,液态水廓线零星分

布,在16时,液态水廓线在低层聚集,雾天发生前,由于辐射降温作用,中高层冷空气加强,液态水含量降低,低层由于相对湿度大,空气达到饱和,有液态水出现,促进了雾天的发生发展过程;

图7(d)看出,从16时开始LWP值大幅度增加,最大值为 $900\text{ g/m}^2$ ,之后迅速下降到 $230\text{ g/m}^2$ 后稳定;

从图7(e)可知,在雾天发生前后,IWV值都保持在一个较高的值,大都保持在 $15\text{ kg/m}^2$ 左右。

### 3.2.3 小结

从温度场分析,辐射计能准确体现出辐射雾发生前的温度变化,在辐射雾发生前,温度明显降低,且在雾天发生过程中,对于雾天的发展过程也能准确表现出,能够监测到雾天发生时出现的逆温层。

从湿度场分析,在雾天发生前,相对湿度和绝对湿度都保持在较大的值,液态水廓线也能较为准确反映出当时雾天液态水的变化情况以及变化原因,液态水路径在雾天发生时有明显的增高,综合水汽含量IWV值也保持在较大的值,可以作为判断雾天发生时的重要指标。

上述分析表明,辐射计能较准确的表征辐射雾发生时的温湿变化情况,且对辐射雾的发生有一定的指示作用。

## 4 结论

通过以上综合分析,表明辐射计能够较为准确地表征锋面雾和辐射雾发生发展时的温湿变化情况。

(1)对于锋面雾,在锋面雾发生过程中:昆明上空大气环流较稳定,整体为平直西风气流,锋面的移动直接影响大雾过程中的温湿变化;从温度场分析可以看出,大雾发生过程中,低层暖空气加强,静止锋由北向南摆动,造成两次移过测站,温度廓线图上, $2800\text{ m}$ 以下均有双逆温层,有利于大雾的生成和发展过程;从湿度场可以看出,大雾过程湿度非常大,相对湿度达到 $96\% \sim 100\%$ ,绝对湿度达到 $7\text{ g/m}^3$ 。综合水汽含量维持在 $14\text{ kg/m}^2$ 左右,仅有小幅波动;当液态水路径的值较大,且持续增大到很大值时,若出现急剧下降,半小时后将出现雾。大雾过程中冷空气势力弱(暖性),能见度差(最差 $200\text{ m}$ )。第一次雾消散原因是暖空气加强升温所至,第二次是因冷空气加强而消散。

(2)对于辐射雾,在辐射雾发生过程中:昆明受南支槽影响,地面气压均匀,大气环流稳定;从温度场分析,在辐射雾发生前,温度明显降低,且在雾天发生过程中,对于雾天的发展过程也能准确表现出,能够监测到雾天发生时出现的逆温层;从湿度场分析,在雾天发

生前,相对湿度和绝对湿度都保持在较大的值,液态水廓线也能较为准确反映出当时雾天液态水的变化情况以及变化原因,液态水路径在雾天发生时有明显的增高,综合水汽含量IWV值也保持在较大的值,可以作为判断雾天发生时的重要指标。

综上所述,辐射计能准确地反映测站受雾影响的气象要素特征,并且具有一定的指示作用。

## 参考文献:

- [1] Robert H. Dicke. The measurement of thermal radiation at micro wave frequencies[J]. The Review of Scientific Instruments, 1946, 17(7): 268-275.
- [2] Bevis M, Businger S, Hecrring T A. Remote sensing of atmosperic water vapor using the global positioning system [J]. GPS meteorology, 1992, 97 (D14): 15787-15801.
- [3] P W Chan, K H Wong. Application of microwave radio meter and wind profiler data in the estimation of wind gust associated with intense convective weather [J]. Iop Conference Series and Environmental Science, 2008, 1 (1): 12-42.
- [4] Laura Bianco, Domencio Cimini, FS Marzano, et al, Com bining 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.
- [5] Decker M T, Westwater E R, Guiraud F O. Experimental evaluation of ground-based microwave radiometric sensing of atmospheric temperature and water vapor profiles [J]. J App l. Meteor, 1978, 17: 1788-1795.
- [6] Westwater ER. The accuracy of water vapor and cloud liquid determination by dua-l frequency ground based microwave radiometry[J]. Radio Science, 1978, 13: 677-685.
- [7] K. Knupp, R. Ware, Cimini D, et al. Ground-Based Passive Microwa ve Profiling during Dynamic Weather Conditions [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2009, 26(6): 1057-1073.
- [8] 张培昌, 王振会. 大气微波遥感基础[M]. 北京气象出版社, 1995: 346-384.
- [9] 赵柏林. 大气物理与大气探测的一些进展[J]. 北京大学学报, 1995, 31(3): 323-337.



- [10] 方炳兴. 常规气象资料质量的综合控制气象[J]. 气象学报, 1994, 20(2): 33-36.
- [11] 赵从龙, 蔡化庆, 宋玉东. 对流层水汽和液态水的地基微波遥感探测[J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 200-207.
- [12] 段英, 吴志会. 利用地基遥感方法检测大气中气态、液态水含量分布特征的分析[J]. 应用气象学报, 1991, 10(1): 34-40.
- [13] 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(1): 74-79.
- [14] 刘亚亚, 毛节奏, 刘钧, 等. 地基微波辐射计遥感大气廓线的神经网络反演方法研究[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1514-1523.
- [15] 金德镇, 雷恒池, 古淑芳, 等. 机载微波辐射计测云中液态含水量[J]. 气象学报, 2004, 62(6): 868-874.
- [16] 刘建忠, 张蔷. 微波辐射计反演产品评价[J]. 气象科技, 2010, 38(3): 325-331.
- [17] 黄治勇, 徐桂芳, 王晓芳, 等. 地基微波辐射资料在短时暴雨潜势预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 576-584.
- [18] 黄治勇, 周志敏, 徐桂芳, 等. 风廓线雷达和地基微波辐射计在冰雹天气监测中的应用[J]. 气象学报, 2015, 34(1): 269-278.
- [19] 李耀东, 刘建文, 高守亭. 动力和能量参量在强对流天气预报中的应用研究[J]. 气象学报, 2004, 62(4): 401-406.
- [20] 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.
- [21] 范艺, 张杰, 朱克云, 等. 北京地区 HTG-3 型微波辐射仪资料的定量分析[R]. 32 届中国气象学会年会, 2015.
- [22] 陈明. 神经网络原理与实例详解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [23] 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, 11(4): 1007-6190.

## Monitoring and Application of the Foggy Weather in Kunming by Microwave Radiometer

OU Ying-Yu, ZHU Ke-yun, ZHANG Jie, ZHENG Jia-feng, XIE Hui-ling

(Plateau Atmospheric and Environmental Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to analyze the value of the weather detection applications about the microwave radiometer in fog weather. In this paper, by using the data of HTG-4 microwave radiometer of Kunming airport from January to April in 2016, we divided the Kunming fog into two weather examples about frontal fog and radiation fog by referring to one by one hour weather report at the station. By researching the monitoring and analyzing the fog on the aspects of temperature, humidity and water vapour content, the results showed that: (1) The radiometer can reflect the temperature change in the process of frontal fog, which corresponds to the movement of the frontal surface. In the process of the development of the radiation fog, the radiometer can accurately calculate the appearance of the inversion layer; (2) Before the fog occurring, the radiometer can accurately reflect the humidity, and the amount of the relative humidity and absolute humidity are maintained in the large area; (3) The change of liquid water profile can reflect the changes of cold and warm advection in the process of fog that occurred; (4) Before the fog occurring, the liquid water path will be have a sudden change, and the integrated water vapor content is also maintained in the large value area. It can be used as an important criterion for the prediction of the fog occurred.

**Keywords:** applied meteorology; short-impending forecast; microwave radiometer; frontal fog; radiation fog; monitoring the data of the temperature and humidity; prediction of the Kun Ming Chang Shui airport