

李肖霞,马舒庆,吴可军,等. 结露自动化观测装置及试验研究[J]. 气象,2012,38(4):501-507.

结露自动化观测装置及试验研究^{* 1}

李肖霞¹ 马舒庆¹ 吴可军¹ 张雪芬¹ 杜 波¹ 卓 问²

1 中国气象局气象探测中心,北京 100081

2 华中科技大学,武汉 430074

提 要: 文章介绍了一套结露自动化观测装置,由 CCD 图像传感器、露采集器和处理器构成。露采集器由三层带有磨砂区域的玻璃片组成,CCD 图像传感器获取玻璃片的图像传送给处理器,结露时磨砂区域与未磨砂区域亮度差值发生变化,处理器自动提取亮度差值及变化信息,识别结露是否发生,从而实现对结露的自动化观测。为了定量分析自动化结露观测装置的性能,设计了观测试验,利用温湿度计观测露采集器附近的温湿度,分析研究湿度与亮度差值及结露的关系,试验结果表明,相对湿度大于 97.9% 时开始结露,玻片亮度归一化差值迅速降低。结露的信息获取率百分之百,结露自动识别率大于 85%。

关键词: 自动化, 结露观测, 试验

A New Automated Dewgauge and Experiment

LI Xiaoxia¹ MA Shuqing¹ WU Kejun¹ ZHANG Xuefen¹ DU Bo¹ ZHUO Wen²

1 Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081

2 Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

Abstract: A new automated dewgauge is proposed. It consists of CCD image sensor, dew collector and processor, in which dew collector comprises three set glasses installed at different height, and each glass set consists of transparent glass and ground glass. The brightness of the glass would change when condensation occurs. The images of three set glasses are transmitted to the processor to determine whether moisture condensation occurs. The humidity is measured using hygrothermograph to test the dew automated data. Research has shown that it is possible to discriminate the moisture condensation. The normalized brightness difference of the glass decreases rapidly when the relative humidity is greater than 97.9%. The measured method and the algorithm have good performance. The dew acquisition can be a hundred percent and the automatic identification rate arrives more than 85%. Thus it can be applied to meteorological observation.

Key words: automated observation, dewgauge, experiment

引 言

露是水汽在地面及近地面物体上凝结而成的水珠,由贴近地面的空气层内所含的水汽因辐射冷却达到饱和,而与地面及近地面物体接触而凝结形成,常在晴朗微风的夜晚出现,在地面气象观测^[1]中,作

为人工观测的一种天气现象进行记录,出现时间较多^[2],在气象业务中主要依靠人工观测来实现。露的观测对农业生产、农业灾害有一定意义。植物叶片暴露在有露、雾和降水形成的液体水分中,对于植物病害、昆虫活动以及作物收割和加工处理等起着重要的作用。因此,叶片湿润程度和湿润持续时间的观测相对雾现象的识别,其应用效果更为显著,世

^{*} 公益性行业(气象)专项(GYHY200906032)资助
2011 年 3 月 13 日收稿; 2011 年 9 月 26 日收修定稿
第一作者: 李肖霞,主要从事气象探测仪器设备研究. Email: lxxaoc@cma.gov.cn

界气象组织对露和叶片湿润持续时间的仪器也有较为详细的阐述^[3]。

实现天气现象自动化观测是综合气象观测发展的趋势^[4]，近年来，针对不同的天气现象类型^[5-6]开展了大量研究，对自动化观测的研究也不断深入，结露的自动化观测在技术上已成为可能^[7]。天气现象观测中的地面凝结现象观测包括霜和露的观测，对露的正确观测也是对霜自动化观测的必要条件，只有正确识别露才能正确识别霜，反之亦然。

1 结露自动化观测装置仪器及原理

结露自动化观测装置由 CCD 图像传感器、露采集器和处理器构成。露采集器由三层带有磨砂区域的玻璃片组成，三层玻璃片是通过特定的支架进行固定的，离地表的高度分别是 5 cm、3 cm 和 1 cm，每一个玻片由透明玻璃区域和毛玻璃区域组成，毛玻璃面需朝下，在没有发生结露现象的情况下，三个玻片的透明玻璃区域和毛玻璃区域在图上界限分明，亮度有着明显的不同；一旦发生结露现象时，玻片透明玻璃区域和毛玻璃区域界限模糊，图像的亮度也

发生了很大的变化，如图 1。

当相对湿度增大到一定程度时，会发生结露现象，玻片亮度随之发生明显变化，表明玻片有效获取了结露信息，结露的信息获取率就是指一定时间之内中结露现象被玻片有效表现的百分率。CCD 图像传感器获取玻片的图像传送给处理器，处理器分别计算三块玻片中磨砂区域与未磨砂区域亮度的差值及变化信息，识别结露是否发生。结露识别正确率是指在结露的前提下，玻片亮度发生了明显变化，结露信息被有效提取的百分率。

归一化亮度差值计算公式：

$$R = 500 \times \frac{(R_1 - R_2)}{(R_1 + R_2)} \tag{1}$$

式中， R 指玻片归一化亮度差值， R_1 是磨砂区域的亮度， R_2 是未磨砂区域的亮度。

结露自动化观测处理流程图如图 2 所示。根据结露速度的快慢，利用 2 个准则来判断。(1)连续 3 帧归一化差值降低，且相邻两帧归一化差值降低超过阈值 10，认为结露现象发生。(2)连续 2 帧归一化差值降低超过阈值 20，认为结露现象发生。



图 1 2010 年 7 月 29 日图像数据
(a)未发生结露现象时的图像,(b)结露现象发生后的图像
Fig. 1 Image data on July 29, 2010 for (a) no dew occurrence and (b) after dew occurrence

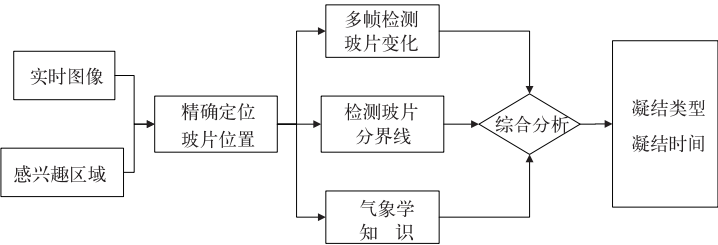


图 2 凝结检测流程
Fig. 2 The flow chart for condensation detection

2 性能试验设计

为了定量分析自动化结露观测装置的性能,设计了观测试验,利用温湿度计观测露采集器附近的温湿度,分析研究湿度与亮度差值及结露的关系。温湿度计的传感器设置在第一块玻璃片旁 1 cm,高度与第一块玻璃片离地高度相同。

试验地点是北京市观象台,试验时间:2010 年 7 月 30 日至 8 月 30 日。每天 20 时至第二天 08 时

为 1 天的试验时间,期间下雨不观测。试验期间,利用温湿度计测量结露传感器周围的相对湿度数据,相对湿度表示空气接近饱和状态的程度^[8-9],在北京市观象台 7 月的温度下,参考人工观测,可以确定是否发生了结露现象。

在试验之前,将温湿度计在国家气象计量站进行计量检定。表 1 为计量检定结果,可以看出,该仪器温度测量随着温度的升高而变大,误差小于 0.5℃,湿度测量性能检定温度为 23℃,随相对湿度增大误差变大,误差小于 3.2%。误差范围满足本

表 1 温湿度计计量检定结果
Table 1 Calibration results of hygrothermograph

温度标准值/℃	温度被测值/℃	温度误差/℃	相对湿度标准值/%	相对湿度被测值/%	相对湿度误差/%
49.92	49.4	−0.5	95.15	92	−3.2
39.74	39.3	−0.4	69.55	68.4	−1.2
29.76	29.5	−0.3	59.49	58.7	−0.8
21.00	20.8	−0.2	49.65	49	−0.6
11.01	10.9	−0.1	30.03	29.6	−0.4
0.49	0.4	−0.1	9.33	9.3	0
−9.74	−9.8	−0.1			
−19.88	−19.8	0.1			

试验要求。

3 数据结果分析

在为期一个月的试验中,雨天不观测,共采集到 18 天试验数据。根据试验方案,温湿度计采集数据的时间是每天 20 时至第二天 08 时,试验过程中发现实际开始结露时间可能会早于 20 时。根据实际开始结露时间的早晚,对本试验数据的分析分为三种情况:一是实际开始结露时间发生在 20 时前,二是实际开始结露时间发生在 20 时后,三是试验中没有发生结露现象。下面就三种情况下相对湿度与三块玻片归一化亮度差值的关系进行分析。

3.1 开始结露时间发生在 20 时之前的数据分析

本试验中有 4 天结露发生在 20 时前,分别是 8 月 9—10 日,8 月 26—27 日,8 月 27—28 日,8 月 28—29 日,三个玻片的亮度归一化差值及当天相对湿度变化曲线如图 3 所示,在开始湿度观测之前,算法也已经检测到了传感器的结露状态。

8 月 9—10 日,算法所报结露时间为 9 日 19 时

09 分,至 10 日 02 时,玻片的亮度归一化差值基本保持较稳定的状态,人工观测玻片图像可以看出,露珠基本覆盖了整个玻片,10 日 02 时开始,露珠逐渐消失,因此亮度归一化差值在 02 时之后发生了较大变化。

8 月 26—27 日,算法所报结露时间为 26 日 19 时 01 分,至 27 日 05 时 30 分,玻片的亮度归一化差值基本保持较稳定的状态,05 时 30 分以后,受太阳光照影响,归一化亮度差值出现明显变化。

8 月 27—28 日,算法所报结露时间为 20 时,此时玻片的亮度归一化差值变化较大,通过人工观测玻片的图像,此次试验时间段中,玻片上的露珠一直在变化,因此影响到玻片亮度归一化差值一直不稳定。

8 月 28—29 日,算法所报结露时间为 19 时 52 分,由于在 22 时 12 分之后图像数据缺失,未能看到整体变化曲线。

3.2 开始结露时间在 20 时之后时仪器识别性能分析

本试验中有 11 天结露现象发生在试验时间段

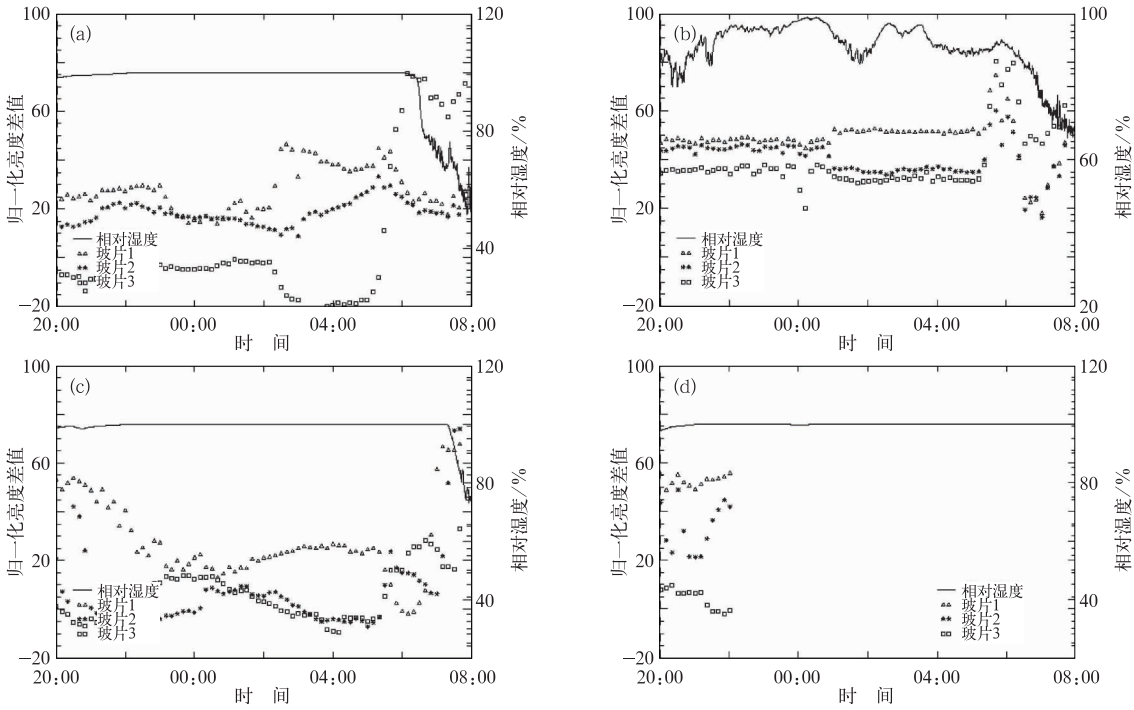


图 3 开始结露时间在 20 时之前时玻片亮度归一化差值及相对湿度变化
(a)8 月 9—10 日,(b)8 月 26—27 日,(c)8 月 27—28 日,(d)8 月 28—29 日
Fig. 3 The normalized brightness difference of the glass and humidity changes (%)
when dew occurs before 20:00 BT
(a) 9—10 August, (b) 26—27 August, (c) 27—28 August, and (d) 28—29 August, 2010

内,分别是 7 月 30—31 日,7 月 31 日至 8 月 1 日,8 月 4—5 日,8 月 6—7 日,8 月 8—9 日,8 月 14—15 日,8 月 15—16 日,8 月 16—17 日,8 月 17—18 日,8 月 20—21 日,8 月 29—30 日。在此试验过程中,当相对湿度变化到比较高的程度时,结露采集器玻片亮度均发生了明显变化,结露的信息获取率百分之百。可以由图 4 看到相对湿度从低变高的过程中,三个玻片亮度归一化差值的变化情况。

数据表明,在相对湿度逐渐变大时,玻片的归一化差值逐渐变小,比较平稳,在湿度达到 95% 以上时,三个玻片归一化亮度差值会发生快速变小,根据判断准则,可以准确判断出是否发生了结露以及开始结露时间,图 4 中虚线指算法判断的结露时间。

在 7 月 31 日至 8 月 1 日的数据中,22 时之前有一段相对湿度突然变大,人工观测到玻片上已结露,而算法未能对此种情况下的结露情况识别出来,因此,对于这种相对湿度变化特别迅速的情况应当进行进一步研究,以改进算法性能。

三个玻片亮度归一化差值也符合一定规律,一般来讲,玻片 1、玻片 2 的值较接近,玻片 3 由于加

了黑色丝网会偏大,并且当结露现象发生时,变化比较大。但是由于玻片 3 高度较低,当地面的草长势较好时,会影响亮度值,造成归一化亮度值偏小,例如在 16—17 日,20—21 日以及 29—30 日,以及本文 3.1 中试验就遇到了这种现象。

另外,由于采集软件故障,8 月 21 日 02:48—03:59,8 月 30 日 04:04—08:00 期间未采集到图像数据,造成部分数据缺失。

3.3 无结露现象发生

本试验中有 3 天相对湿度较低,没有发生结露现象,分别是 8 月 1—2 日,8 月 2—3 日,8 月 5—6 日,玻片亮度未发生明显变化。

由图 5 可以看出没有结露现象发生时,三个玻片亮度归一化差值基本保持平稳,玻片 3 值较大。

3.4 结露传感器判断结露现象发生时的相对湿度统计

当结露传感器判断为结露时,对温湿度计所测量的相对湿度进行了统计,如图 6,从图中可以看

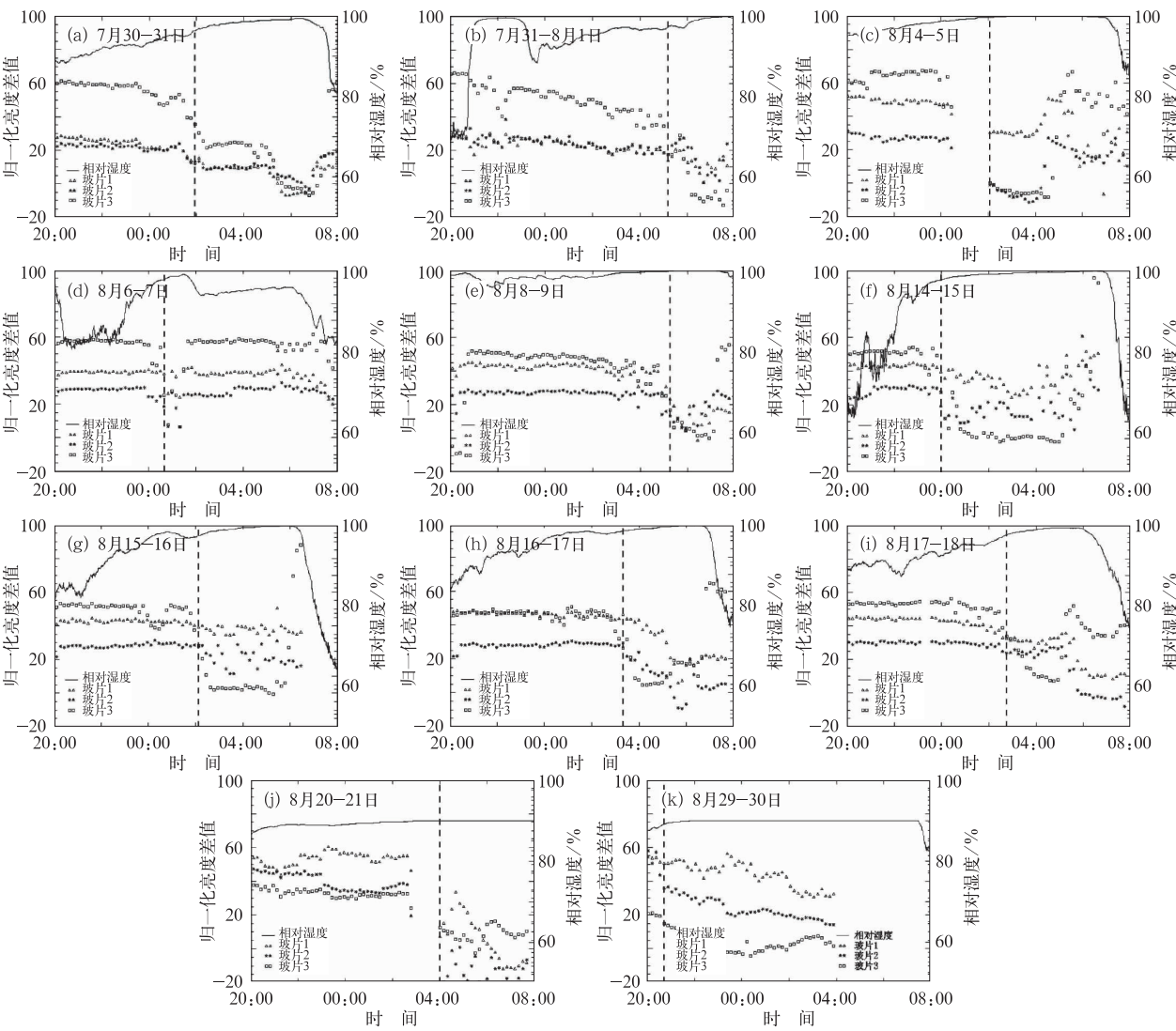


图 4 开始结露时间在 20 时之后时玻片的亮度归一化差值及相对湿度变化
(虚线指自动识别的结露时间)

Fig. 4 The normalized brightness difference of the glass and humidity changes when dew occurs after 20:00 BT for 11 sampling days as shown in abscissa during July—August 2010
(Dotted line refers to the condensation time automatically identified)

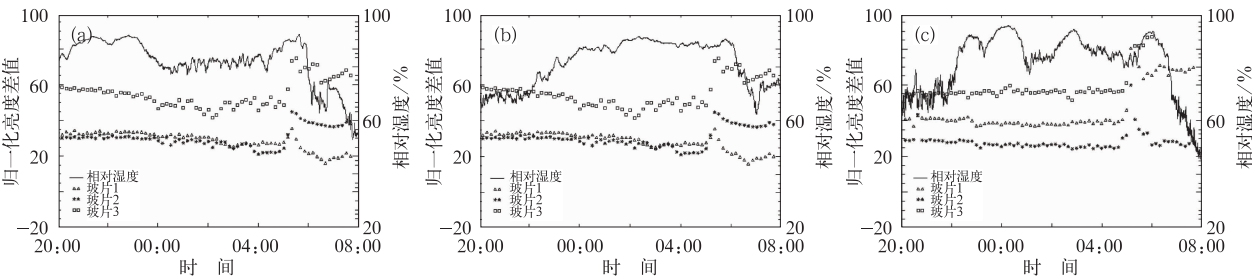


图 5 无结露现象时玻片的亮度归一化差值及相对湿度变化
(a)8月1—2日,(b)8月2—3日,(c)8月5—6日

Fig. 5 The normalized brightness difference of the glass and humidity changes when no dew occurs during
(a) 1—2 August, (b) 2—3 August, and (c) 5—6 August, 2010

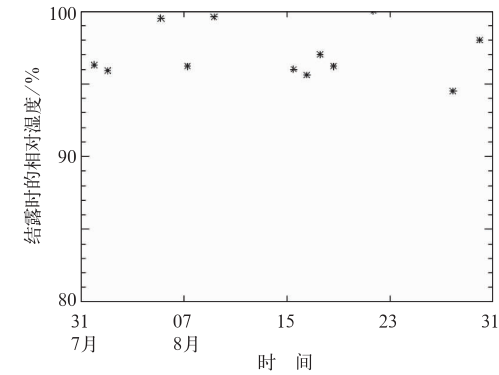


图 6 自动化识别为结露时温湿度计所测量的相对湿度值

Fig. 6 The relative humidity (%) measured by hygrothermograph on the condensation time automatically identified

出,在自动化观测到结露时,相对湿度都在 95%以上,只有 8 月 27 日是 94.5%。本文前面介绍了温湿温度计在试验之前进行过计量检定工作,湿度比较大时,测量值较标准值小 3.2%,因此此时标准的相对湿度值应该在 97.9%以上。由此可见,利用结露传感器及其判别算法识别出结露时,相对湿度基本达到饱和状态,显示了自动化观测方法较好的观测性能。

4 与人工观测对比

前期利用温湿温度计观测相对湿度试验结束后,从 2010 年 9 月开始,对自动化结露观测装置结露能力进行了为期两个月的验证试验。以台站人工观测

表 2 结露自动化观测装置与人工观测比较

Table 2 The results of automated dewgauge compared with the manual observation

日期	人工观测是否 结露(9 月)	自动识别 结果(9 月)	判断是否 正确(9 月)	人工观测是否 结露(10 月)	自动识别 结果(10 月)	判断是否 正确(10 月)
1 日	是	20:00	正确	是	22:38	正确
2 日	是	20:01	正确	是	17:03	正确
3 日	是	无	错误	是	12:24	正确
4 日	是	20:12	正确	是	09:54、14:34	正确
5 日	是	20:02	正确	是	12:24	正确
6 日	是	20:02	正确	是	无	错误
7 日	是	20:43	正确	是	18:35	正确
8 日	是	22:53	正确	是	22:35	正确
9 日	是	20:03	正确	是	无	错误
10 日	是	20:23	正确	是	17:39	正确
11 日	是	20:54	正确	下雨	15:29	正确
12 日	是	21:14	正确	是	13:19	正确
13 日	是	20:14	正确	是	12:10	正确
14 日	是	20:14	正确	是	14:50	正确
15 日	是	无	错误	否	14:55	错误
16 日	是	20:55	正确	是	13:05	正确
17 日	下雨	20:05	正确	无	无	正确
18 日	是	20:05	正确	下雨	07:57、13:57	正确
19 日	是	20:25	正确	下雨	07:01、23:59	正确
20 日	是	无	错误	是	16:18	正确
21 日	下雨	14:16	正确	是	无	正确
22 日	是	12:16	正确	是	10:02	正确
23 日	是	12:26	正确	是	22:33	正确
24 日	是	15:06	正确	是	无	错误
25 日	是	21:37	正确	是	11:08、14:28	正确
26 日	是	12:17	正确	否	14:30	错误
27 日	是	17:33	正确	是	22:49	正确
28 日	否	12:17	错误	是	11:30、14:50	正确
29 日	是	20:12	正确	是	23:02	正确
30 日	是	20:33	正确	是	20:52	正确
31 日				是	21:03	正确

业务记录的天气现象编码和人工观测的玻片结露记录为标准,一天判断一次。根据《地面气象观测规范》的要求,人工观测结露只记录当天有无现象发生,不记录起止时间。在人工记录没有结露却发生降水现象时,如果仪器判断结露现象与降水现象时间相当,则认为判断正确,详细结果见表2。

如表2中,9月3、15和20日自动化装置未能判断出结露现象,属于漏报;28日判断的中午时分结露,人工观测无结露,属于误报。10月6、9和24日漏报结露,15和26日误报分别一次。以上试验时间共计61天,正确识别52天,6天漏报,3天误报,识别准确率为85.2%。

针对漏报及误报的产生,本文将试验数据进行了详细分析。漏报的主要原因是由于实际结露过程发生在日落时间前后,此时仪器自动开启照明功能,受此光线变化的影响,出现了漏报现象,针对这种受光线影响的漏报现象,可以通过算法中增加计算日落时间模块功能,去除仪器照明功能产生的光线变化对识别结果的影响。

试验中共有三次误报现象发生,通过对试验图片仔细观察,这三天确实发生了结露现象,但是人工记录没有发生,这是由于业务用人工记录在观测时,观测地点没有固定的缘故,从另一角度来讲,这也表明通过玻片观测结露现象比较灵敏。

5 结 论

(1) 结露自动化观测装置自动获取结露图像资料,结露信息获取率高,通过图像识别技术自动化识别是否结露,实现了地面气象观测中天气现象——

露的自动化观测。

(2) 性能试验结果显示,结露采集器中不同的高度三个玻片亮度归一化差值的变化可以反映是否发生结露现象。数据分析表明,不同高度的玻片亮度归一化差值不同,一般来说,高度越高,差值越大。当在玻片下添加均匀背景时,会使玻片亮度归一化差值明显变大,但是也会受到下垫面背景的影响。

(3) 与人工观测对比观测的正确率达到85%以上。本研究所采用现有结露算法是在北京地区试验数据基础上建立的,识别正确率较高。但仍然需采集更多的数据样本,特别是不同区域的样本,验证改进算法,以提高算法适应性。

致谢:北京市气象台试验人员及丁超等在试验中付出了辛勤劳动,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社, 2003:21-27.
- [2] 周宝荣. 谈露的观测[J]. 贵州气象, 2006, 30(3): 41.
- [3] WMO. Report on the Measurement of Leaf Wetness[R]. Agricultural Meteorology Report No. 38, Geneva, 1992.
- [4] 张文建. 世界气象组织综合观测系统(WIGOS)[J]. 气象, 2010, 36(3): 1-8.
- [5] 郑利兵, 陈林, 林云生, 等. 基于气象规范的电线积冰自动监测系统的研究[J]. 气象, 2010, 36(10): 97-101.
- [6] 胡亚旦, 周自江. 中国霾天气的气候特征分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 73-78.
- [7] 马舒庆, 吴可军, 陈冬冬, 等. 天气现象自动化观测系统设计[J]. 气象, 2011, 37(9): 1166-1172.
- [8] 盛培轩, 毛节泰, 李建国, 等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社, 2002:21-24.
- [9] 许建照, 赵莉, 丰爱国. 湿度、露点和干燥度[J]. 电子机械工程, 2009, 25(5): 25-27.