

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.

# 天气现象自动化观测系统设计<sup>\*1</sup>

马舒庆<sup>1</sup> 吴可军<sup>1</sup> 陈冬冬<sup>1</sup> 汤志亚<sup>2</sup> 李肖霞<sup>1</sup> 杜波<sup>1</sup> 曹治国<sup>3</sup>

1 中国气象局气象探测中心,北京 100081

2 成都信息工程学院,成都 610225

3 华中科技大学,武汉 430074

**提 要:** 为了实现天气现象自动化观测,针对地面观测规范中 34 种天气现象,设计了基于图像、光学散射和常规地面气象观测多种技术的天气现象自动化观测系统。它由天气现象传感器和数字处理器两部分组成,天气现象传感器完成天气现象的图像和光学特性采集,数字处理器将模拟图像数字化,对数字图像和光学特性数据进行处理和管理,结合自动站的资料进行天气现象自动化识别。图像采集和识别技术在凝结天气现象自动识别试验中取得初步成效。

**关键词:** 天气现象, 自动化观测, 图像, 传感器

## Automated Present Weather Observing System and Experiment

MA Shuqing<sup>1</sup> WU Kejun<sup>1</sup> CHEN Dongdong<sup>1</sup> TANG Zhiya<sup>2</sup> LI Xiaoxia<sup>1</sup> DU Bo<sup>1</sup> CAO Zhiguo<sup>3</sup>

1 CMA Meteorological Observation Centre, Beijing 100081

2 Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

3 Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

**Abstract:** This paper deals with an automatic observation system with regard to the 34 present weather phenomena. The system works with techniques of photographing and optical scattering as well as the present surface observation system. The automated present weather observing system consists of two parts. One is a present weather sensor, and the other is a digital processor. The present weather sensor collects photographs and optical scattering information. The digital processor, however, processes the photographs, and determines the present weather type with helps of the surface observation system. Achievements were made in realizing the surface coagulation phenomenon by photographing technology.

**Key words:** weather, automated observing system, image, sensor

## 引 言

地面观测包括两部分:要素观测(温、压、湿、风和辐射)和综合观测(云、能见度和天气现象)。天气现象是指发生在大气中、地面上的一些物理过程。它包括降水现象、地面凝结现象、视程障碍现象、雷电现象和其他现象等,这些现象都是在一定的天气条件下产生的,是各气象要素变化的综合结果<sup>[1]</sup>。

当前,我国气象观测台站装备的自动气象站能够实现温、压、湿、风和降水等气象要素的自动化观测,而天气现象的观测仍然靠人工目测完成。台站天气现象业务观测方面存在的问题主要表现为:主观性强、简单化、定性化;观测频次少,不能全面、连续反映天气现象。天气现象自动化观测就是地面目视观测和听觉观测项目的客观化、量化。天气现象自动化观测将获取更多有价值的气象信息,改变目前我国地面观测业务中人工观测和仪器观测并行

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906032)资助

2010 年 12 月 28 日收稿; 2011 年 3 月 3 日收修定稿

第一作者:马舒庆,主要从事大气探测技术研究, Email:msqaoc@cma.gov.cn

的局面。

随着科学技术的发展,越来越多的新技术和新方法可应用于自动气象观测,这使天气现象的自动观测在技术上已成为可能。国内外在天气现象自动化观测方面已经做了大量的试验研究工作,取得了卓有成效的进展。凯迈(洛阳)测控有限公司生产的CJY-2C/T天气现象仪通过测量雨滴的下降速度和颗粒大小来分辨降水类型和计算降雨量,能够区分毛毛雨、雨、雪、冰雹及混合降水等多种类型。德国PMTech公司的PARSIVEL M300、德国Thies公司生产的激光降水探测器以及加拿大GENEQ公司生产的TPI-885降水现象传感器等,都在降水天气现象的观测方面具有较高的可靠度,可以得到降水粒子尺寸和降水粒子速度,从而反演降水类型和降水量。英国BIRAL公司的HSS天气现象仪已逐步成为世界上最具特色的前向散射天气现象仪,可以测量毛毛雨、雨和雪等。芬兰VAISALA公司生产的PWD12和PWD22天气现象传感器根据接收端接收到的光强与测量区域的粒子多少和尺寸有关,将同一时刻由前向散射仪接收到的散射光强与雨水检测器接收到的强度之比就可以区分降水类型<sup>[2-3]</sup>。目前国内外的天气现象观测仪器主要有降水天气现象、视程障碍现象自动观测仪。降水天气现象自动观测仪可分为三种类型:粒子遮光类<sup>[4,8]</sup>、粒子散射类<sup>[5-6]</sup>和声敏类<sup>[7]</sup>。基本能够判断出毛毛雨、雨、雪、冰粒等降水天气现象,但无法完成全部的降水分类。可以通过能见度仪、湿度、温度和风等要素来综合识别视程障碍现象雾、轻雾、吹雪、雪暴、烟幕、霾、沙尘暴、扬沙和浮尘,但同样也存在不能完全分类的问题。雷电现象可通过雷电探测仪来探测。大风和飏等现象可根据常规要素自动观测综合判断出来。有部分天气现象(龙卷、尘卷风、露、冰针、霜、雨淞、雾淞、积雪和极光等)还缺乏专用设备对其进行自动观测。

分析研究现有天气现象观测技术和我国气象业务对天气现象观测的需求发现,国内的大气环境与国外的有很大的不同,如气溶胶含量以及气溶胶的谱分布等都与国外差异很大,因而造成国外的部分产品对天气现象的监测误报率较高;国外的气象产品所依据的标准规范与国内并不完全一样,造成部分项目缺测和分类标准不统一;国外产品主要根据光学原理对天气现象进行判断,所以判定的天气现象类型还比较少,主要集中在对降水的判定上,不能

满足多种天气现象(比如地面凝结天气现象等)的监测需求;此外,国外产品的价格普遍较高,也不利于大量装备。针对以上问题,作者设计了以光学特性测量技术和图像识别技术为基础的天气现象自动化观测系统,结合现有自动气象站资料对天气现象进行自动观测识别。

## 1 天气现象自动化观测技术选取

参照我国地面气象观测规范<sup>[1]</sup>规定,天气现象划分为五类:降水天气现象、视程障碍天气现象、凝结天气现象、雷电天气现象和其他天气现象。

### 1.1 降水天气现象观测技术的选取

降水天气现象包括:雨、阵雨、毛毛雨、雪、阵雪、雨夹雪、阵性雨夹雪、霰、米雪、冰粒和冰雹。降水天气现象是天气预报、人工影响天气和云物理研究的重要资料,包含了降水的物理状态和强度信息,也反映了降水形成的大气状态和云物理条件。目前,降水天气现象的自动化观测方法有很多,如测量降水粒子的散射特性、遮挡特性以及降水粒子击打物体的声学特性。这些技术能测量获得液态降水粒子的直径、降水量、降水强度和固态降发生的信息,但不能给出固态降水量(降水强度)和种类的信息,不能区分雪、霰、米雪和冰粒。为此,国外发展了以图像传感器为基础的降水天气现象自动观测技术。以图像传感器为基础的降水天气现象自动观测系统的特点是能获取降水粒子的形态,对于识别降水物态(固态、液态)有优势。因此,在天气现象自动化观测系统设计中,降水天气现象观测技术采用了测量降水粒子的散射特性的传感器和图像传感器结合的方式。

### 1.2 视程障碍天气现象观测技术的选取

视程障碍天气现象包括:沙尘暴、扬沙、浮尘、雾、轻雾、霾、吹雪、雪暴、烟幕和冰针。这些天气现象都将影响气象能见度<sup>[9]</sup>。沙尘暴、扬沙、浮尘、雾、轻雾和霾更是日常气象服务的重要内容。目前对于视程障碍天气现象自动识别有两种方式:一种是通过气象能见度、温度、湿度和风速等观测数据,综合判别各种视程障碍天气现象。如通过能见度和大气湿度判别雾、轻雾和霾;通过能见度、湿度和风速区分沙尘暴、扬沙和雾。另一种是通过图像传感器获取大气的色度信息,通过色度学参数区分沙尘类(沙

尘暴、扬沙、浮尘)、雾类(雾、轻雾)、雪类(吹雪、雪暴)天气现象。在天气现象自动化观测系统中,视程障碍天气现象传感器采取以第一种方式为主、第二种方式为辅的设计理念。首先通过综合判别,实现对沙尘暴、扬沙、浮尘、雾、轻雾和霾的自动识别,然后通过图像传感器获取的色度信息,进一步提高自动识别的正确率,增加对不同视程障碍现象的区分能力。

### 1.3 凝结天气现象观测技术选取

凝结天气现象包括:露、霜、雾凇和雨凇。霜、雾凇、雨凇、积雪和结冰这些天气现象是日常气象服务和气象灾害服务的重要内容,对农业、交通和电力等国民经济骨干和基础产业有极大影响<sup>[10]</sup>。目前对凝结天气现象自动化识别是天气现象自动化观测的弱项,国内外尚没有成熟的自动化观测设备。由于凝结天气现象、积雪和结冰都具有一定的图像特征,适于采用图像识别技术对这些天气现象进行自动识别,因此选择图像传感器来获取凝结天气现象和积雪、结冰的图像资料。为了使观测更加标准化、观测结果更具可比性,采用满足天气现象观测规范要求的统一示踪物体,通过图像传感器获取示踪物上(中)的凝结天气现象资料。

### 1.4 光电天气现象观测技术选取

光电天气现象包括:雷暴、闪电和极光。其中,雷暴、闪电是云强烈放电产生的光声现象,是预报和服务的重要内容<sup>[11]</sup>。目前我国已有较为成熟的以地闪监测为主的闪电监测系统,其实时数据可传至天气现象自动化观测系统中。极光是出现在高纬地区高空,由于太阳粒子流轰击高层大气气体使其激发或电离的彩色发光现象。空间天气监测和预报对极光天气现象的观测有较大需求。天气现象自动化观测系统采用 CCD 图像传感器,自动采集北方天空图像并记录极光图像。

### 1.5 其他天气现象观测技术

其他天气现象主要包括大风、飏、龙卷和尘卷风。这些天气现象通过气象站时,可以利用自动气象站的温度、风向和风速等资料进行自动观测识别。

## 2 天气现象自动化观测系统构成

天气现象自动化观测系统是针对目前天气现象

人工观测项目,充分利用各种传感器并综合自动气象站以及闪电定位仪数据,研制的一种新型的自动化观测系统。目前可基本实现各种天气现象的识别,包括:降水现象中雨、阵雨、毛毛雨、雪、阵雪、雨夹雪、阵性雨夹雪和冰雹;地面凝结现象中露、霜、雾凇、雨凇、积雪和结冰;视程障碍现象中沙尘暴、扬沙、浮尘、雾、轻雾和霾;雷电现象中雷暴、闪电以及大气运动现象中大风、飏等。其他不能自动化识别的天气现象基本可以实现自动化采集,作为图像资料存储下来。

天气现象自动化观测系统主体由天气现象传感器和数字处理器两部分组成。天气现象传感器包括:露、霜、结冰图像传感器,雨凇、雾凇和积雪图像传感器,视程障碍图像传感器,主动天气现象传感器,主要完成天气现象的图像和光学特性采集。数字处理器采用实时并行处理技术,多路实时将模拟图像数字化,每路视频均通过 DSP 芯片,采用可变码压缩编码技术(VBR)进行压缩编码处理。在保证图像清晰度和实时性的前提下,大大地减少了数据存贮和传输量。每个通道均可独立操作互不干扰,可对每个通道的亮度、对比度、色度、饱和度进行调整。主动天气现象传感器的数据资料被直接送入处理器。处理器对数字图像和光学特性数据进行处理和管理,结合自动站的资料进行天气现象自动化识别,数字处理器还担负显示、存储和网络信息交换管理。处理器内置网络传输功能,通过网络可实现联网计算机的“中心集中存贮”或“网络分布式存贮”充分利用了网络资源,提高了系统的可靠性和可用性。

图 1 是天气现象自动化观测系统的结构框图。

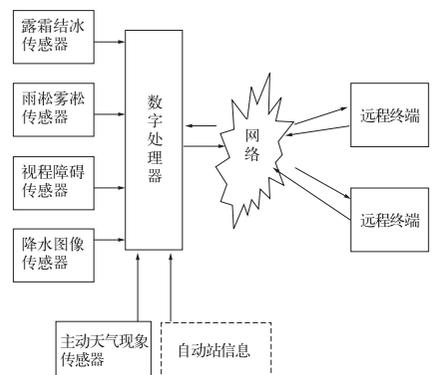


图 1 天气现象自动化观测系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of the automated present weather observing system

### 3 天气现象传感器

天气现象传感器分为两类:一类是图像传感器,包括:露、霜、结冰图像传感器,雨淞、雾凇和积雪图像传感器,视程障碍图像传感器;另一类是主动发射光信号的主动天气现象传感器。

#### 3.1 图像传感器

图像传感器由 CCD 摄像头、电源、护罩、温控器、照明灯(可选)构成,如图 2 所示。



图 2 天气现象传感器

Fig. 2 The present weather sensor

图像传感器技术参数:

有效像素:752(H)×582(V)

水平分辨率:540TV 线

信噪比(S/N):大于 48 dB(AGC 关)

视频输出:1.0V<sub>p-p</sub>(75Ω,复合视频)

照度:0.5 lux

聚焦方式:手动

快门:1/50~1/10000 秒

输入/输出接口 控制:2Pin 接口,

电源:2Pin 接口,视频:BNC

工作功率:5.4 W(450 mA)

#### 3.2 主动天气现象传感器

主动天气现象传感器主要由光发射器和光学接收器组成,光发射器以一定的频率发射激光脉冲,当降水颗粒经过仪器的采样区时,可以根据接收到的脉冲数量来计算出下降速度,再根据不同降水颗粒散射的脉冲强度,对降水颗粒进行统计分析,判别出不同的降水类型。光发射器发射激光产生的前向散射强度与能见度相关,通过散射强度可以计算出能见度。图 3 是主动天气现象传感器的结构框图。

主动天气现象传感器主要技术指标:

降水天气现象识别种类:雨、毛毛雨、雪和冰雹  
降水测量指标:

雨有无起始判定:0.015 mm·h<sup>-1</sup>

雪有无起始判定(等量水):0.0015 mm·h<sup>-1</sup>

降水量测量范围:≤ 250 mm·h<sup>-1</sup>

降水量误差:≤ 10%

能见度测量范围:10~10000 m

能见度测量精度:≤ 10%, 0~5000 m

≤ 20%, > 5000 m

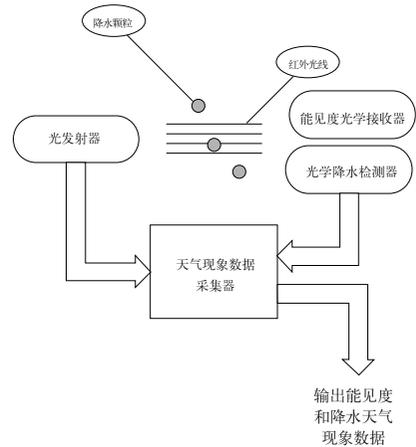


图 3 主动天气现象传感器的结构框图

Fig. 3 Block diagram of the active present weather sensor

### 4 天气现象图像采集方法

天气现象的采集是天气现象自动化观测的基础。由于降水、凝结、视程障碍天气现象图像特征不同,因此采用多传感器分别采集。

#### 4.1 降水天气现象图像采集

降水天气现象图像传感器的镜头对天,通过透明材料(有机玻璃)采集雨、阵雨、毛毛雨、雪、阵雪、雨夹雪、阵性雨夹雪、霰、米雪、冰粒和冰雹的图像。图像采集区的范围:20 mm×20 mm。

#### 4.2 露、霜、结冰凝结物天气现象图像采集

采集露、霜、结冰这些凝结天气现象图像的传感器镜头对地,获取露、霜、结冰的图像。图像采集区的范围:100 mm×100 mm。

#### 4.3 悬浮(视程障碍)物、大气运动天气现象采集

悬浮物天气现象图像传感器镜头光轴水平,获

取吹雪、雪暴、烟幕、霾、沙尘暴、扬沙、浮尘、雾、轻雾、冰针、龙卷和尘卷风图像。图像采集区的范围:垂直  $60^\circ$ , 水平  $360^\circ(180^\circ)$ 。

#### 4.4 光电天气现象采集和识别

光电天气现象图像传感器镜头垂直向上, 获取雷暴、闪电、极光的图像。图像获取范围: 天空半球。

#### 4.5 各种天气现象采集频率

降水天气现象采集频率: 0.1 Hz

凝结物天气现象采集频率: 1/600 Hz

悬浮(视程障碍)天气现象采集频率: 1/600 Hz

光电天气现象采集频率: 25 Hz

## 5 图像识别方法

自动识别是天气现象自动化观测的关键。对图像的识别包含形态和色度的识别。

### 5.1 图像色度识别

明度、色调和饱和度称为颜色视觉三特性。明度就是明亮的程度。色调是由波长决定的色别, 如 700 nm 光的色调是红色, 579 nm 光的色调是黄色, 510 nm 光的色调是绿色等。饱和度就是纯度, 没有混入白色的窄带单色, 在视觉上就是高饱和度的颜色。光谱所有的光都是最纯的颜色光, 加入白色越多, 混合后的颜色就越不纯, 看起来也就越不饱和。国际照明委员会(CIE)1931 年制定了一个色度图, 用组成某一颜色的三基色比例来规定这一颜色, 即用三种基色相加的比例来表示某一颜色, 并可写成方程式:

$$C = R + G + B$$

式中,  $C$  代表某一种颜色,  $R$ 、 $G$ 、 $B$  是红、绿、蓝三基色的比例系数, 它们的和等于 1, 即  $R + G + B = 1$ 。任何颜色都用匹配该颜色的三基色的比例加以规定, 因此每一颜色都在色度图中占有确定的位置。这个值取决于目标的光学特性和大气的成分, 前者一般在相当长的时间内不会发生变化, 如建筑物。因此可以通过对特定目标物的颜色视觉特性, 确定大气视程障碍天气现象和凝结天气现象。

#### 5.1.1 露霜自动识别方法

地面凝结天气现象中露和霜分别是水汽在地面及近地面物体上凝结而成的水珠和凝华而成的白色

松脆的冰晶, 有明显的颜色视觉特性, 可以直接获取地面图像, 分析颜色视觉特性, 自动识别露或霜是否出现。为自动识别的标准化和资料具有可比性, 在地面设置了三块 20 mm 宽、80 mm 长(其中 20 mm 长是毛玻璃)、1 mm 厚的玻璃片, 三块玻璃片离地表(或植冠)的高度分别为 1、3 和 5 cm。为了减少灰尘的影响, 有毛玻璃的面朝下。图 4 是三块玻璃片中一块玻璃片结露前后的照片, 左边是结露后照片, 右边是记录前的照片。可以看出结露前, 毛玻璃区的亮度与没有进行毛玻璃处理的区亮度不一样, 结露后, 两个区亮度接近。这种亮度变化特征可以用于识别是否结露或霜。毛玻璃区的亮度与没有进行毛玻璃处理区的亮度差参数(简称亮度差参数)

$$L = (V_1 - V_2) / V_1$$

其中  $V_1$  是毛玻璃区的亮度,  $V_2$  是没有进行毛玻璃处理区的亮度。

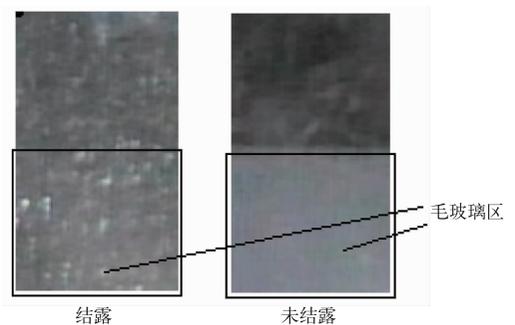


图 4 玻璃片结露前后的照片  
Fig. 4 Photos before and after condensation occurs on a glass

#### 5.1.2 露霜自动识别方法应用

图 5 是 2009 年 10 月 27 日 18 时到 28 日 00 时的亮度差参数变化曲线, 其中横坐标数据更新周期为 1 小时, 19 时开始结露, 亮度差参数为 0.47, 结露完成后, 亮度差参数稳定在 0.2 以下, 结露前后亮度

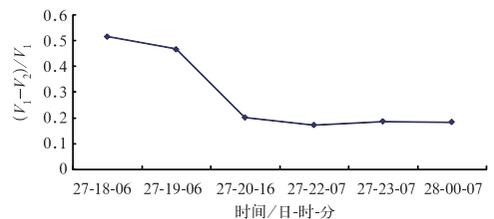


图 5 2009 年 10 月 27 日 18 时到 28 日 00 时的亮度差参数变化曲线

Fig. 5 Curve of brightness difference parameter from 18:00 BT 27 October to 00:00 BT 28 October 2009

差参数有一个明显的变化。

2010 年 7 月在北京市观象台安装 DZT-1 天气现象自动化观测仪,统计分析了 8、9 和 10 月的地面凝结天气现象观测结果,并与人工观测数据进行了对比,8 月共计 31 天,其中 26 天数据判断正确,5 天判断错误,准确率 84%;9 月共计 30 天,其中 25 天数据判断正确,5 天判断错误,准确率 83.3%;10 月共计 31 天,其中 22 天数据判断正确,9 天判断错误,准确率 71%。10 月识别率低于 80%,主要原因是到目前为止,采集霜的图像样本太少,还不能确定霜的判别阈值,10 月 26—30 日发生霜,自动识别软件只能将其误判为露。

### 5.2 图像形态识别

对于雨、阵雨、毛毛雨、雪、阵雪、雨夹雪、阵性雨夹雪、霰、米雪、冰粒、冰雹、露、霜、雾凇、雨凇、积雪、结冰、龙卷和尘卷风等天气现象,在图像上有明显的形态特征。通过形态识别,可以区分不同天气现象。当降水是液态降水时,对图像进行识别处理,得到雨滴的图像直径,通过雨滴的图像直径与雨滴的实际直径的标定关系得到雨滴的实际直径,进而得到雨滴谱、降水强度和降水量。

四值分割与边缘梯度相融合的雨滴识别是一种对雨滴形态识别的方法,这种算法包括:(1)基于各项异性滤波的图像预处理;(2)得到基于四值分割的雨滴识别结果;(3)得到基于边缘梯度的雨滴识别结果;(4)将两种方法的识别结果进行融合。图 6 显示了这种分析的流程。图 7 给出了自动识别结果,图右侧显示了雨滴在图片中的位置坐标和直径,图下部给出了雨滴直径分布直方图。

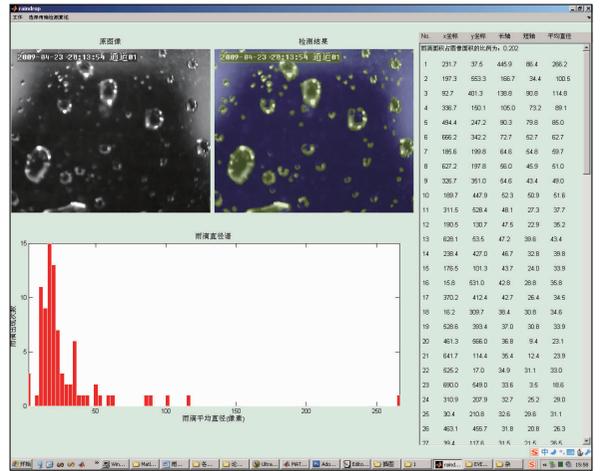


图 7 雨滴直径分布图

Fig. 7 Distribution of the raindrop diameter

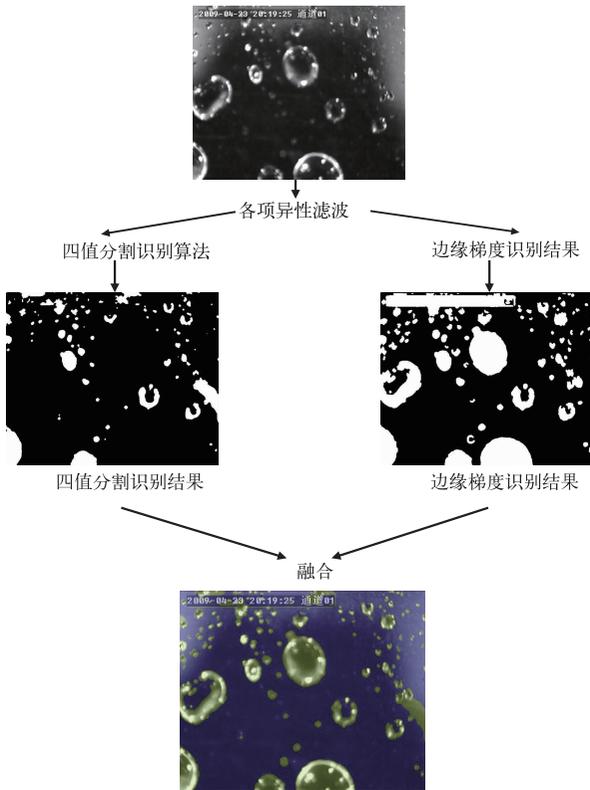


图 6 雨滴识别流程示意图

Fig. 6 The flow chart of raindrop identification

### 5.3 综合识别

主动式天气现象传感器输出能见度数据,将这些数据与地面自动站的温度、湿度、风速资料结合,进行综合分析,就可以完成雾、霾和沙尘暴的识别。图 8 是视程障碍天气现象自动识别总流程图和沙尘暴视程障碍天气现象二次判别流程图。

## 6 小结

天气现象自动化观测系统是为地面业务观测而设计的自动化观测设备。具有如下特点:

(1) 针对 34 种天气现象自动化观测而设计的自动化观测设备,集成图像、光学散射和常规地面气象观测多种技术。

(2) 客观化、定量化记录天气现象,采用了图像技术,确保天气现象的客观记录,即便由于样本获取要有较长的时间,短期不能完全实现自动化识别,但能完全自动化采集存储,为业务调整,改变地面人工观测与仪器观测双轨运行的局面提供条件。

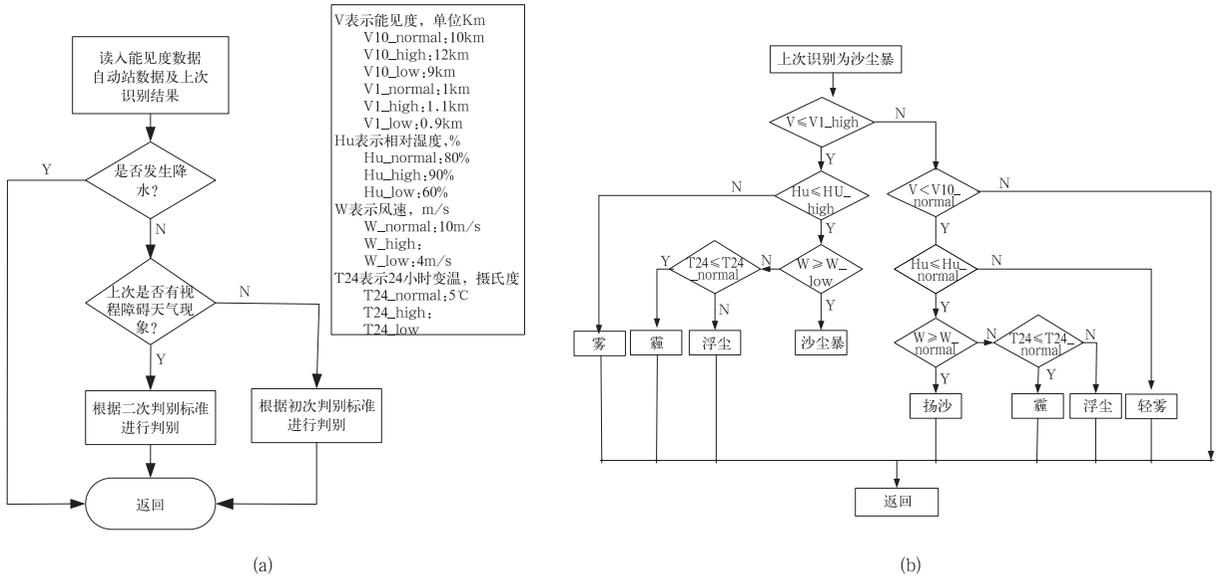


图 8 视程障碍天气现象自动识别总流程图(a)和沙尘暴视程障碍天气现象二次判别流程图(b)  
 Fig. 8 Total flow chart of the impaired vision weather phenomenon automatic identification (a) and the second discriminant flow chart of duststorm impaired vision weather (b)

(3) 图像采集和识别技术在凝结天气现象自动识别试验中取得初步成效。

(4) 天气现象自动化观测系统目前的局限性在于:目前只具备对 34 种天气现象中的 24 种进行自动识别的功能,识别的准确率也有待于样本的不断积累和方法的改进。对于其余的 10 种天气现象还需进一步研究观测方法。天气现象自动观测和传统的人工观测对比和评估正在展开,评估工作不仅为了仪器的改进,也为形成保持资料连续性的业务流程和资料应用提供依据。

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] Automated Surface Observing System(ASOS)User's Guide. 1998.

[3] Jitze P van der Meulen. Present weather observing systems: One year of experience and comparison with human observations[C]. WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation, 1992.  
 [4] 王青梅,杨艳玲,谢邦力. 利用雨的闪烁效应测量降水强度[J]. 量子电子学, 1994, 11(3):198-204.  
 [5] 马远. 英国 BIRAL HSS 高精度能见度/天气现象仪[J]. 气象水文海洋仪器, 2005, 2(7):47-50.  
 [6] 黄裕文. FD12 气象传感器的维护与校准[J]. 四川气象, 2002, 22(1):52-54.  
 [7] Vaisala RAINCAP Sensor Technology. www.vaisala.com.  
 [8] 濮江平,赵国强,蔡定军,等. Parsivel 激光降水粒子谱仪及其在气象领域的应用[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2):3-8.  
 [9] 孟燕军,王淑英,赵刁方. 北京地区大雾日大气污染状况及气象条件分析[J]. 气象, 2000, 26(3):40-43.  
 [10] 赵珊珊,高歌,张强,等. 中国冰冻天气的气候特征[J]. 气象, 2010, 36(3):34-38.  
 [11] 许小峰. 雷电灾害与监测预报[J]. 气象, 2004, 30(12):17-21.