

蒲晓虎,马舒庆,梁丽,等. 2015. 露、霜自动化观测的研究. 气象, 41(9):1152-1158.

露、霜自动化观测的研究^{* 1}

蒲晓虎¹ 马舒庆² 梁丽² 杜传耀³

1 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147

2 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

3 北京观象台, 北京 100089

提 要: 在地面气象观测业务中通常采用人工观测的方式来判断结露、结霜现象的发生, 人工观测主观性强, 观测频次少, 工作效率低, 不能全面、连续反映结露、结霜过程的特征。本文介绍了一种结露、结霜自动化观测装置, 装置工作原理是电容传感器在高湿和低湿情况下电容变化较大, 通过测量电容变化引起的频率变化, 然后由识别软件来判断结露现象的发生, 再结合温度信息以及结冰信息就可以判断结霜现象的发生, 从而实现了结露、结霜的自动化观测。通过大量的结露、结霜的对比试验表明露、霜自动化观测装置能够比较准确地识别结露、结霜过程的发生, 能够推广到台站业务使用。

关键词: 结露, 结霜, 自动化观测装置, 试验

中图分类号: P412

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 09. 013

Research on Dew and Frost Automatic Observation

PU Xiaohu¹ MA Shuqing² LIANG Li² DU Chuanyao³

1 Chongqing Meteorological Information and Technological Support Centre, Chongqing 401147

2 Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081

3 Beijing Weather Observatory, Beijing 100089

Abstract: In meteorological observation services, artificial methods are usually used to determine the occurrence of dew and frost phenomena. Manual observation has strong subjectivity, fewer observing times and low efficiency and it can not fully and continuously reflect the characteristics of dew and frost process. This article describes a dew and frost automatic observation device. The device works by detecting changes in capacitance of capacitive sensors in high humidity and low humidity conditions and measuring frequency changes caused by the change in capacitance. Then the recognition software is used to judge occurrence of dew phenomenon and frost phenomenon combined with freezing temperature information and icing information in order to achieve the dew and frost automatic observation. Through a lot of dew and frost comparative tests, we found the automatic observation device can accurately identify the occurrence of dew and frost process and the device can be extended to the practical use.

Key words: dew, frost, automatic observation, experiment

引 言

地面凝结现象是天气现象的一个重要组成部

分,它是水汽从空气中凝结,并凝结在物体上或者地表的一种现象(中国气象局,2003)。常见的地面凝结现象有露、霜等现象。露对植物的生长和发育具有十分重要的作用。在发生干旱时,露水是植物生

* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906032)资助。

2014年3月31日收稿; 2015年2月25日收修定稿

第一作者:蒲晓虎,主要从事大气探测技术研究. Email:595768107@qq.com

长必不可缺的重要水资源,它能够调节水分在植物体内的分布,弥补由于蒸腾作用或者其他因素造成的植物水分的缺失;它也能够改善土壤中水分的平衡,补充土壤水分的蒸发量,促进“土壤—植物—大气”的循环,从而间接地影响植物的生长和发育(叶有华等,2011)。此外,结露也会或多或少地影响到我们的日常生活。

霜会对植物的生长产生不利的影 响。霜冻现象会使农作物部分受到一些伤害,造成农作物的落花、落叶,食用价值的损失或作物的全株死亡,导致一定的农业灾害和损失。

在地面气象观测中,露、霜的观测是台站气象观测业务的重要内容。目前主要是依靠人工观测来记录露、霜现象的发生。这种观测方法主观性强,效率较低,并且不能全面、连续地反映结露、结霜过程的一些特点。因此,为了提高露、霜观测的准确性以及改善观测的工作效率,结露、结霜的自动化观测已经成为了必然的趋势。本文就介绍了一种新的露、霜自动化观测装置,首次采用测量所研制的电容式传感器电容变化引起的频率变化来判断露、霜现象的发生,详细阐述了其工作原理和露、霜的识别算法,最后进行了观测结果的对比分析试验。

1 露、霜自动化观测装置及工作原理

1.1 装置工作原理

电容传感器在结露或者结霜时电容会发生变化,测量电容值的变化并将其转化成频率值,将测量的频率值通过采集器传输到计算机,露、霜识别软件通过检测结露前后频率的不同来判断是否结露,然后结合地表温度信息以及结冰情况来判断是否发生结霜现象。露、霜自动化观测装置实物图如图1所示,电容栅是在覆铜板上腐蚀而成,形成电容极板,



图1 露、霜自动化观测装置实物图

Fig. 1 Dew and frost automatic observation device

在其上涂覆绝缘漆,当绝缘漆上干燥,电容极板间距1 mm,电容很小。当绝缘漆上有水,水成一极,电容加大。

由于露、霜自动化观测装置是放在室外工作的,为了确保测量电路能够正常工作,因此对测量电路做了一些保护措施,在测量电路部分表面涂抹了防水性较好的AB胶。

1.2 装置构成

露、霜自动化观测装置主要由以下几部分组成:计算机、电容传感器及测量电路、数据采集器。图2为露、霜自动化观测装置构成示意图。装置是通过两套电容传感器的组合来测量频率的变化,其中一套电容栅朝下,另一套电容栅朝上。电容栅朝上的电容传感器是为了排除降雨对露、霜判断结果的影响。因为下雨时电容栅表面先接触雨滴,电容栅朝上的传感器测量的频率会比电容栅朝下的传感器先发生频率明显下降的现象。通过两路测量电容栅朝上和朝下传感器的电容变化引起的频率变化,然后采集频率数据,并通过串口将数据传输给电脑,由露、霜识别软件综合判断电容栅朝上和朝下的频率变化情况来识别结露、结霜过程。

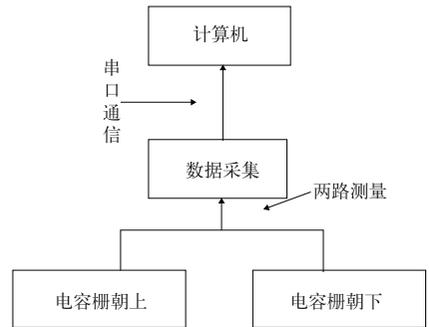


图2 露、霜自动化观测装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of dew and frost automatic observation device

1.2.1 电容传感器

图3为电容传感器示意图,电容传感器的尺寸为50 mm×40 mm,线宽为2 mm,线间距为1 mm。电容传感器是根据电容的构成原理制成的。电容栅是在覆铜板上腐蚀而成,形成了电容极板的一极,在其上涂覆绝缘漆,当绝缘漆上很干燥时,电容极板间距1 mm,此时电容传感器的电容很小。而当绝缘漆上有水时,水形成了电容的另一极,构成极板。覆

铜板与水成为两个极板,绝缘漆将两个极板隔开,这时就构成了一个电容器。这时与绝缘漆上没有水时相比,电容明显增大。电容传感器通过接口接上测量电路,就可以测量电容变化,为了便于数据处理,将电容的变化用频率的变化来表示,正是通过测量结露前后频率的变化,来判断是否发生结露现象。

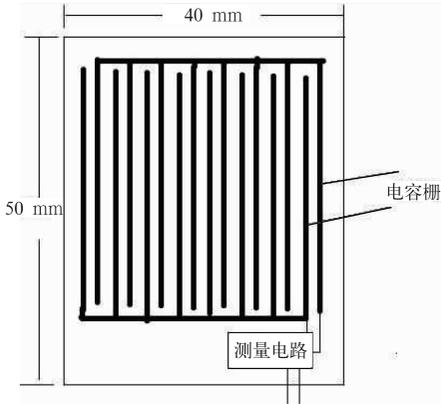


图3 电容传感器示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the capacitive sensor

1.2.2 测量电路

为了测量电容传感器的电容变化,在本次设计中采用555定时器电路来测量电容的变化,并作了一些修改,由于电容传感器在绝缘漆上没有水,电容太小,故在电路中并联了一个100 pF的电容,具体电路图如图4所示。

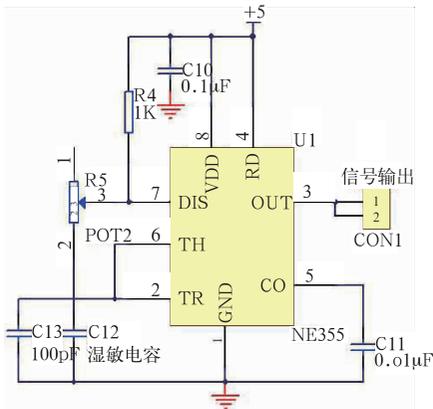


图4 电容传感器测量电路

Fig. 4 Measuring circuit of capacitance sensor

555 定时器的振荡周期为电容充电时间和放电时间之和:

$$T = T_1 + T_2 \quad (1)$$

式中,电容的充电时间用 T_1 表示,电容的放电时间

用 T_2 表示。

充电时间为:

$$T_1 = (R_1 + R_2)C \ln 2 \approx 0.7(R_1 + R_2)C \quad (2)$$

放电时间为:

$$T_2 = R_2 C \ln 2 \approx 0.7R_2 C \quad (3)$$

矩形波的振荡周期:

$$T = T_1 + T_2 = \ln 2(R_1 + 2R_2)C \approx 0.7(R_1 + 2R_2)C \quad (4)$$

故可以通过改变电阻 R_1 、 R_2 和电容 C 的值的大小,得到所需的矩形波的周期和频率。

当电容传感器很干燥时,此时电容传感器的电容很小,可以忽略不计,由式(4)可以得到此时的振荡频率为:

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{0.7(R_4 + 2R_5)C_{13}} \quad (5)$$

其中, $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_5 \approx 300 \text{ k}\Omega$, $C_{13} = 100 \text{ pF}$, 则可以得到 $f \approx 25 \text{ kHz}$ 。

当电容传感器由于结露而变得潮湿时,电容传感器电容增大,此时得到的振荡频率 f 的值就会明显下降。如式(6)所示:

$$f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{0.7(R_4 + 2R_5)(C_{12} + C_{13})} \quad (6)$$

电容传感器的电容值与振荡频率呈反比关系。经过大量的试验,得到振荡频率 f 最小值可以达到 5 kHz 左右,由此可以得到电容传感器的电容范围约为:0~400 pF。因此,结露和未结露时,电容传感器的电容变化引起的振荡频率变化还是比较明显的。

2 结露、结霜过程的识别

2.1 识别原理

电容传感器在结露前后电容会发生变化:未结露时电容传感器电容很小,结露时电容会变大。测量电路测量电容的变化并转化成频率值的变化,采集器采集这些频率数据,并通过串口将频率数据传输到计算机交给识别软件处理,判断结露或者结霜现象的发生。因此,露、霜的识别过程就是识别软件检测电容栅电容的变化来判断结露或者结霜现象的发生。

2.2 识别算法

经过多次露、霜试验,结合结露、结霜时频率的

变化情况以及结霜时温度和结冰情况,分析结露、结霜时频率的变化规律,研究出了结露和结霜的识别方法,并通过采用两块电容栅,改变电容栅放置方向,来排除降水情况对露、霜判断的影响。具体的露、霜以及降水情况的识别算法如下所示:

2.2.1 结露判别条件

(1) 电容栅朝下的频率下降到最大值的 0.5 倍;(2) 日落后,电容栅朝下的频率持续下降 2 h;(3) 日落到日出间,电容栅朝下的频率下降 3 h;出现上述现象之一,判断为结露。

2.2.2 结霜判断条件

(1) 满足结露条件,且出现结冰;(2) 满足结露条件,且结冰传感器温度 $<0^{\circ}\text{C}$;(3) 满足结露条件,且日出后,电容栅朝下的频率快速下降 5%,并保持 10 min 以上;出现上述条件之一,判断为结霜。

2.2.3 降雨判别条件

(1) 白天像夜间一样电容栅朝上的频率下降;(2) 电容栅朝上的传感器先(10 min)出现频率下降;出现上述条件之一,判断为降雨。

通过上述算法,就能够较好地识别露、霜以及降水现象的发生。

2.3 识别软件

2.3.1 软件构成

结冰识别软件是基于 Visual C++ 6.0 的开发环境编写。软件主要有以下几个部分组成:串口设置模块,状态显示模块,实时曲线显示模块,实时数据显示模块,露、霜判断结果显示模块,历史数据回放模块。下面将简单介绍各个模块的功能。

(1) 串口设置模块

在该部分可以设置串口编号、串口的波特率、奇偶校验、数据位数、停止位。

(2) 曲线显示模块

该模块使用了 NTGraph 控件,其作用是显示电容栅朝上和朝下时所测量的对应频率曲线。

(3) 状态显示模块

该部分主要显示当前时间,实时频率值,结露、结霜的信息以及结冰信息。

(4) 判断结果及实时数据模块

该部分主要显示露、霜判断结果以及电容栅朝上和电容栅朝下的实时频率值。

2.3.2 软件工作流程图

图 5 为识别软件判断露、霜现象的流程图。

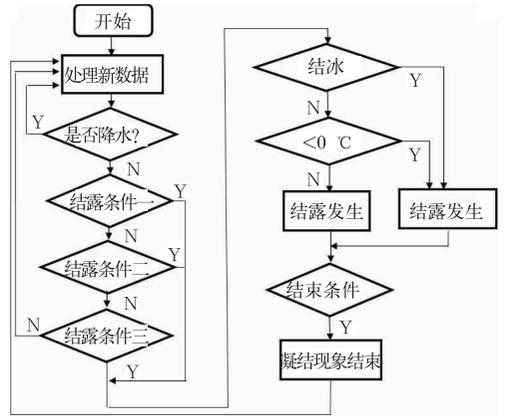


图 5 结露、结霜判断流程图

Fig. 5 Judging flowchart of dew and frost

3 试验对比分析

3.1 结露过程

为了了解结露过程中,电容传感器电容变化引起的频率变化特点,因此对采集到的频率数据进行分析,以便得到结露过程的一些特点。图 6 为露、霜自动化观测装置所测得的电容栅朝下时频率曲线图。



图 6 2013 年 10 月 20—21 日结露过程中频率变化曲线图

Fig. 6 Frequency changes during the dew process from 20 to 21 October 2013

从得到的结露过程中所测得频率变化曲线图可知,每日 17 时左右受外界温度湿度的影响,电容传感器开始变得潮湿,电容增大,露、霜自动化观测装置所测得的频率就开始出现明显的下降,当频率值满足识别软件的判定条件后,就判定为结露现象发生。结露现象发生后,环境的湿度发生变化,所测的频率值还会继续发生变化,当电容传感器所有的板面都变得潮湿后,电容会达到一个最大值,频率的变化就趋于平缓。

到达早晨后,环境的湿度降低,电容传感器上的水分逐渐开始蒸发,电容传感器的电容值就不断减小,所测得的频率就开始增大,当电容传感器变得完全干燥时,此时它的电容值减小到最小,而所测得的频率值到达所设定的最大值,此后频率值趋于稳定,直达下一个结露过程的来临时,频率才开始下降。

3.2 结霜过程

在结霜过程中,所测得的频率变化特点与结露过程类似,但也存在不同之处,图7为选取的两次结霜过程中露、霜自动化观测装置所测得电容传感器朝上和朝下的频率曲线图。

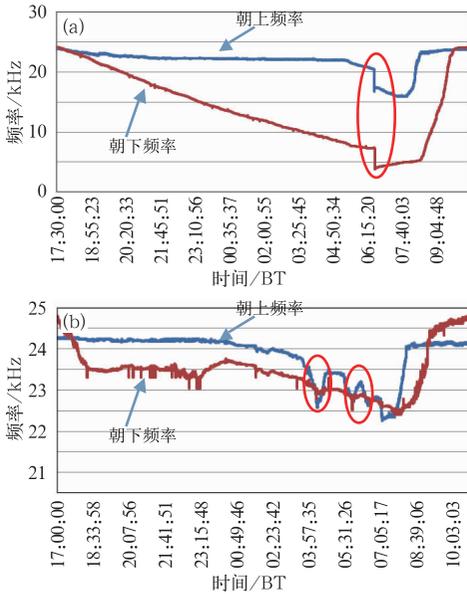


图7 2013年10月26—27日(a)和11月12—13日(b)结霜过程中装置所测得的频率变化曲线图

Fig. 7 Frequency changes during the frost process from 26 to 27 October (a) and from 12 to 13 November (b) 2013

根据露、霜自动化观测装置所测得的频率曲线图,可以得出,电容传感器朝上和朝下两种方式所得到的频率值的变化趋势大体一致。但是与结露过程的频率变化曲线相比,结霜过程的频率曲线也有自己的特点。

在17时左右的时候,由于环境湿度的增加,所测得的频率值开始减小,当频率值下降到一定程度时,如果满足了识别软件的结露判别条件,软件就判断出现了结露现象,如果此时出现了结冰现象或者

温度下降到 0°C 下(由结冰识别软件发送相关信息),那么就满足了结霜的判别条件,软件就判别发生了结霜现象。结霜过后,由于电容传感器表面发生凝结现象,就造成电容传感器电容变化很小,因此频率的变化就趋于平缓。而此后,由于温度的升高,电容传感器的霜融化成水,造成电容传感器的电容短时间内增大,所测得的频率也就短时间内直线下降,如图7a中红色圆圈标注,此后当电容传感器变得干燥时,频率又逐渐上升到初始设定的值,这就是与结露过程所不同的地方。而图7b中出现多次频率急剧下降又上升的情况原因是电容传感器上的霜融化成水后,频率下降,而此后上面的水又结霜了,因而形成了频率下降又上升的情形。

3.3 与人工观测对比分析

为了检测研制的电容式露、霜自动化观测装置对结露、结霜识别的具体情况,2013年10—11月与2013年12月至2014年1月两个阶段在北京南郊观象台开展了相关的结露、结霜对比试验。每日在21:00与06:30两个时间点人工观测结露、结霜情况,将人工观测的露、霜结果与北京观象台的人工观测结果作为对比试验的标准(两种方式都是人工观测,但是两班人员)。将电容式露、霜自动化观测装置对结露、结霜的判别结果与北京观象台、中国气象局气象探测中心的图像式露、霜自动化观测装置(马舒庆等,2011;李肖霞等,2012)以及人工观测的判断结果进行对比分析,第一阶段(2013年10月9日至11月9日)的观测结果如表1所示。

从2013年10—11月进行的结露、结霜对比试验结果可以看出:电容式露、霜自动化观测装置判断错误了4次,分别是10月15日、10月22日、10月24日和11月6日,图像式露、霜自动化观测装置判断错误了10次,分别是10月9—11日,13—14日,20、22和24日、11月5和8日。电容式露、霜自动化观测装置出现错误的原因主要是露、霜识别算法未能设置合适的频率阈值,来区分开露、霜以及降雨。图像式露、霜自动化观测装置出现判断错误的情况大多是在判断露时产生的,其原因主要是图像式露、霜观测装置采用的载玻片在有风的情况下,毛玻璃区域很快就干了,装置不易识别这一变化过程,并且载玻片要经常清理,不然很容易沾染灰尘以及其他杂物,这样将对判断结果造成不良影响。

在第一阶段露、霜试验后,针对试验中出现的

表 1 2013 年 10—11 月结露、结霜试验结果

Table 1 Results of dew and frost experiments from October to November 2013

时间 /月-日	人工观测	电容式	图像式	北京 观象台
10-09	结露	结露	无	结露
10-10	结露	结露	无	结露
10-11	结露	结露	无	结露
10-12	无	无	无	结露
10-13	结露	结露	无	结露
10-14	结露	结露	无	结露
10-15	结露	结霜	结露	结露
10-16	结露	结露	结露	结霜
10-17	结露	结露	结露	结露
10-18	结露	结露	结露	结露
10-19	结露	结露	结露	结露
10-20	结露	结露	无	结露
10-21	结露	结露	结露	结露
10-22	下雨	结露	结露	结露
10-23	无	无	无	结露
10-24	结霜	无	无	无
10-25	结露	结露	结露	结露
10-26	结霜	结霜	结霜	结霜
10-27	结霜	结霜	结霜	结霜
10-28	结霜	结霜	结霜	结霜
10-29	结霜	结霜	结霜	无
10-30	结霜	结霜	结霜	结霜
10-31	结霜	结霜	结霜	结霜
11-01	结露	结露	结露	结露
11-02	下雨	下雨	下雨	下雨
11-03	结霜	结霜	结霜	结露
11-04	结霜	结霜	结霜	结霜
11-05	结露	结露	无	无
11-06	结霜	结露	结霜	结霜
11-07	结霜	结霜	结霜	结霜
11-08	结露	结露	无	结露
11-09	结露	结露	结露	结露

表 2 2013 年 12 月至 2014 年 1 月结露、结霜试验结果

Table 2 Results of dew and frost experiments from December 2013 to January 2014

时间 /月-日	人工观测	电容式	图像式	北京 观象台
12-17	无	无	无	无
12-18	无	无	无	无
12-19	结霜	结霜	结霜	结霜
12-20	结霜	结霜	无	结霜
12-21	结霜	结霜	结霜	结霜
12-22	结霜	结霜	无	结霜
12-23	结霜	结霜	结霜	结霜
12-24	结霜	结霜	无	结霜
12-25	结霜	结霜	结霜	结霜
12-26	无	无	无	无
12-27	无	无	无	无
12-28	无	无	无	无
12-29	无	无	无	无
12-30	无	无	无	无
12-31	无	无	无	无
1-01	无	无	无	无
1-02	无	无	无	无
1-03	无	无	无	无
1-04	结霜	结霜	结霜	结霜
1-05	结霜	无	无	结霜
1-06	无	无	无	无
1-07	结霜	结霜	结霜	结霜
1-08	无	无	无	无
1-09	无	无	无	无
1-10	结霜	结霜	结霜	结霜
1-11	结霜	结霜	无	结霜
1-12	无	无	无	无
1-13	结霜	结霜	结霜	结霜
1-14	结霜	结霜	结霜	结霜
1-15	结霜	结霜	结霜	结霜
1-16	无	无	无	无

露、霜识别问题,对电容式露、霜自动化观测装置和露、霜识别算法进行了不断的完善,又在 2013 年 12 月至 2014 年 1 月期间开展了第二阶段试验,试验的对比结果如表 2 所示。

如表 2 所示,在 2013 年 12 月至 2014 年 1 月间开展的试验中,电容式露、霜自动化观测装置值只出现了 1 次观测错误,较前一阶段试验结果有明显的进步。出现识别错误的原因是霜很小,频率出现了结霜时的变化趋势,但软件没有能够识别到。与之对比的图像式露、霜自动化观测装置,则出现了 5 次错误判别。

综合两个阶段的结露、结霜对比试验的结果,可以看出,在两个阶段实验中电容式露、霜自动化观测装置只出现了 4 次判断错误,而图像式露、霜自动化

观测装置则出现了 15 次错误的判断,电容式露、霜自动化观测装置观测的准确率还是比较高的。与图像式露、霜自动化观测装置相比较而言,电容式受环境风的影响更小,电容式设备成本更低,且安装更方便,对安装场地要求也不是很高。图像式露、霜自动化观测装置的要经常维护,载玻片需要经常擦洗,不然会影响对结露、结霜的正确识别,而电容式露、霜自动化观测装置则不需要经常维护,节约了人力资源。

4 结 论

(1) 露、霜自动化观测装置利用电容传感器在

低湿情况下电容较小,高湿情况下电容较大,将电容的变化用频率的变化来表示,再结合温度信息以及结冰信息,实现了露、霜现象的自动化观测。

(2) 通过大量的对比试验表明:结露、结霜过程中装置测得的频率值会出现明显的下降,识别软件根据频率的变化特征来识别结露、结霜过程。在2013年10—11月与2013年12月至2014年1月两个阶段开展了结露、结霜的对比试验,露、霜自动化观测装置只出现了4次误判,对露、霜现象识别的准确率高。

(3) 本研究所得出的结论是建立在在北京地区试验得到数据的基础上的,因此还需要采集更多不同

地区的试验数据样本,完善和改进露、霜的识别算法,提高识别算法的适应性,使得露、霜自动化观测装置能够得到推广。

参考文献

- 李肖霞,马舒庆,吴可军,等.2012.结露自动化观测装置及试验研究.气象,38(4):501-507.
- 马舒庆,吴可军,陈冬冬,等.2011.天气现象自动化观测系统设计.气象,37(9):1166-1172.
- 叶有华,彭少麟.2011.露水对植物的作用效应研究进展.生态学报,31(11):3190-3196.
- 中国气象局.2003.地面气象观测规范.北京:气象出版社,21-27.