

蒲晓虎,张春波,马舒庆,等. 2014. 地面气象观测中结冰自动化观测的研究. 气象,40(2):234-237.

地面气象观测中结冰自动化观测的研究^{*1}

蒲晓虎¹ 张春波² 马舒庆³ 杨 玲¹ 梁 丽¹

1 成都信息工程学院电子工程学院,成都 610225

2 北京市观象台,北京 100089

3 中国气象局气象探测中心,北京 100081

提 要: 在地面气象观测业务中一般采取人工观测判断结冰现象是否发生。为了提高结冰观测的工作效率,结冰自动化观测已经成为必然的趋势。文章介绍一种新的结冰自动化观测装置,通过检测结冰过程中由于潜热释放引起的温度突变上升过程,判断结冰现象的发生,实现结冰自动化观测。结合结冰温度观测数据对结冰过程中各个阶段特征进行分析,并与人工观测的结果进行对比,结果表明结冰自动化观测装置能够比较准确地实现结冰现象的检测,具有一定的实际应用价值。

关键词: 结冰检测, 自动化观测装置, 结冰过程, 温度突变

中图分类号: P414

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2014. 02. 012

Research on Icing Automation Observation in Ground
Meteorological Observation

PU Xiaohu¹ ZHANG Chunbo² MA Shuqing³ YANG Ling¹ LIANG Li¹

1 Department of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225

2 Beijing Weather Observatory, Beijing 100089

3 CMA Meteorological Observation Centre, Beijing 100081

Abstract: In the ground meteorological observation, it generally takes artificial observation to judge whether icing phenomenon occurs. In order to improve the efficiency of icing observation, automation of icing observation has become an inevitable trend. This paper introduces a new automatic observation device for icing through detecting the sudden rise process of temperature that is caused by latent heat release in the icing process, and judges the occurrence of icing phenomenon to realize the automation of icing observation. Combined with temperature observation data, characteristics of each stage in the icing process are analyzed as well. Compared with the artificial icing observation results, it is concluded that the automation observation device for icing can accurately observe icing phenomenon.

Key words: icing detection, automatic observation device, icing process, sudden rise of temperature

引 言

结冰是冬季一种常见的天气现象。结冰现象会直接或间接地影响工业、农业、交通运输、商业等国民经济产业和生命财产安全。道路结冰(李蕊等, 2011)被中国气象局列为第一批发布预警信号的突

发气象灾害之一。因此如何准确地探测结冰过程就显得尤为重要。

目前有多种方法可以对结冰现象进行探测,例如光纤结冰传感器(邹建红等, 2012; 杨蓉等, 2010; Ikiades, 2007),通过检测传感器端面是否有积冰来判断结冰,当没有结冰时,发射光将沿发射光纤射入空气,接收光纤探测不到任何发射光,当端面有结冰

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906032)资助
2012 年 12 月 30 日收稿; 2013 年 5 月 5 日收修定稿
第一作者:蒲晓虎,主要从事信号与信息处理在气象领域的应用研究和气象仪器研究. Email:595768107@qq.com

发生时,接收光纤就能通过接收光信号的强度及变化趋势,检测出结冰信息及厚度状态信息;电容式结冰传感器(秦建敏等,2007;张杰等,2006)则基于水、空气和冰的介电常数的不同来判断电极之间的介质是冰、空气和水;振动式冰传感器(丁立勋等,2006; Roy et al,1998)则是基于振管在交变磁场的作用下产生磁致伸缩,然后将机械振动信号转变为电信号,传感器通过信号的频率测量来确定结冰的状态。此外红外热像法(李辉,2007)通过检测被测物表面结冰前后的热图像来确定其温度,通过比较结冰和未结冰的温度差来判别是否结冰以及结冰厚度。而在地面气象观测业务中(马舒庆等,2011;中国气象局,2003),观测员通过观察小型蒸发皿或观测场周围水体是否结冰,记录结冰天气现象是否发生。然而这种观测方法不能准确给出结冰时间,并且依赖于观测员的主观判断。为了提高观测质量,改善工作效率,地面气象观测自动化已成为必然趋势。为了实现结冰自动化观测研制了结冰自动化观测装置,以实现地面气象观测中结冰天气现象的自动化观测。本文将介绍结冰自动化观测装置的工作原理,并结合观测数据对结冰过程进行分析。

1 结冰观测装置

图 1 为结冰自动化观测装置示意图。装置由计算机、温度表和封闭的容器等组成。在封闭的容器中装一半的水,温度传感器漂浮在水面上,不断测量水面的实时温度,通过温度表显示,温度表将实时温度通过串口传输给计算机,然后通过软件判断结冰现象的开始时间和结束时间。

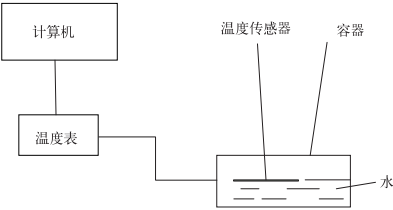


图 1 结冰观测装置

Fig. 1 Icing observation device

使用温度表记录水体温度,温度表的测量精度为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。温度表使用铂电阻探头,将探头和浮漂捆绑在一起,漂浮在水面上,铂电阻刚好被水淹没,实时测量水体温度。装水的容器作密封处理,防止水的蒸发,并排除外界因素影响测量结果。

在结冰试验中,使用两种装置进行结冰自动化观测:一种观测装置是蒸发皿盛水,温度传感器漂在

水面上,用玻璃片密封(图 1),蒸发皿置于地上进行结冰的自动判别;另一种观测装置实物图(图 2),装置长约 20 cm,宽 6 cm,高 6 cm,装置置于地面上,装置密封;装置内水体的温度变化趋势基本与环境温度变化一致。两种装置中的水与地面气象观测站中蒸发皿装同类水。



图 2 装置实物图

Fig. 2 Photo of the device

2 观测方法和软件

2.1 观测方法

水要结成冰,首先水的温度要降到 0°C 以下,形成过冷水(樊玲,2006;曲凯阳等,2003)。从热力学观点来看,过冷水处于亚稳态,该状态的解除需要大于临界尺寸的冰核的形成,当过冷水中出现尺寸大于临界尺寸的冰核时,结冰过程开始,冰核在冷水中长大,最终形成宏观意义上的冰。水体结冰是一个液—固相变过程(刘中良等,2003),水从液相转变到固相的过程短时间内会释放大量潜热,造成水体温度迅速升高,形成一个温度突变上升过程,最后终止在 0°C ,如图 3 所示。可以通过检测这一温度突变上升过程来判断结冰现象是否发生。

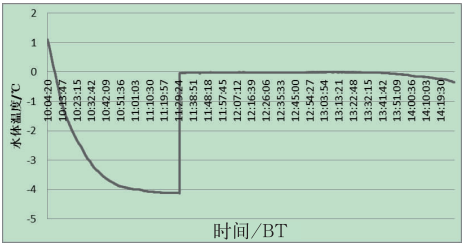


图 3 水体温度突变上升过程

Fig. 3 Sudden rise process of water temperature

2.2 软件检测流程

软件将接收的水体温度数据进行处理,判断结

冰过程的开始和结束(图 4)。软件主要是通过捕获结冰过程中温度的突变过程来判断结冰过程的开始。当水体温度同时满足条件 1、条件 2、条件 3 时,软件判断结冰过程开始,在结冰过程开始后,当水体温度满足条件 4 时,软件判断结冰过程结束。这就是一个完整的结冰过程。

3 试验和分析

试验在北京市南郊观象台进行,观测结冰过程中不同阶段水体温度的变化,判断结冰自动化观测装置是否正常工作,记录结冰过程中水体温度并对数据进行分析。

为了得到结冰过程中温度的变化规律,选取了 2011 年 11—12 月期间一些水体结冰的温度数据进行分析,如图 5 所示。

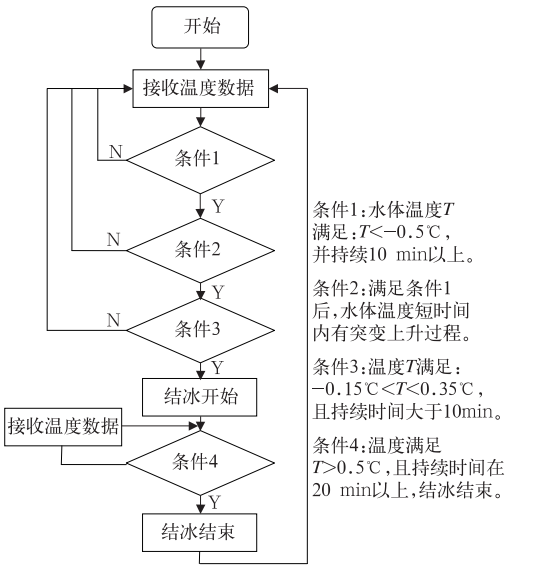


图 4 结冰过程判断的流程图

Fig. 4 Flow diagram of icing judgment

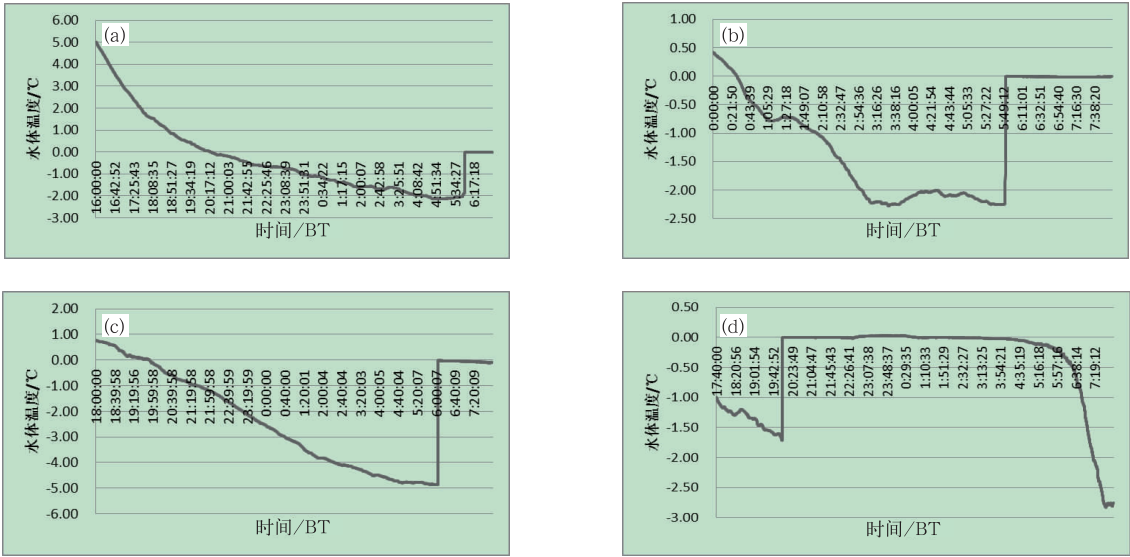


图 5 2011 年结冰数据

(a) 11 月 27 日, (b) 11 月 30 日, (c) 12 月 8 日, (d) 12 月 13 日

Fig. 5 Data of icing in 2011

(a) 27 November, (b) 30 November, (c) 8 December, (d) 13 December

通过上述结冰过程中水体温度变化的折线图,可以得到结冰过程中水体温度不同阶段的变化特征。一个完整的结冰过程按照时间先后顺序可以分为四个阶段。

第一阶段:温度下降阶段。在此阶段受到环境温度的影响,水体温从 0℃ 以上降低到 0℃ 以下,水体并没有马上结冰,水体温度还会继续下降并会在 0℃ 以下持续一段时间。

第二阶段:温度突变上升阶段。温度下降到零

下某一温度后,部分水体开始结冰,结冰的水体大量释放热量,然后水体温度有一个明显的突变上升过程,温度突变上升到 0℃,结冰识别软件正是通过检测水体温度的突变上升过程来判断结冰现象的发生。

第三阶段:温度恒定阶段。水体温度突变到 0℃ 后,结冰过程开始,水体全面结冰,温度在一段时间内保持稳定,保持在 0℃,没有大的波动,此后水体温度有可能继续下降。

第四阶段:冰融化阶段。结冰后,如果外界环境温度上升,那么冰体温度也将随之上升,到达 0℃ 以上温度后,就开始融化。

在结冰过程中都存在明显的温度突变上升过程,现对 2011 年 11—12 月的结冰温度数据进行分析,统计温度突变过程中温度上升的幅度(表 1)。

从表 1 可以看出,温度突变上升的幅度约在 1.58~3.7℃ 之间,容易被识别,因此温度突变过程可以作为结冰的判断标志。

为了验证结冰自动化观测装置对结冰过程判断的准确性,从 2012 年 11 月开始做相关的试验,并与人工观测结冰的结果进行对比(表 2)。

表 1 温度突变上升幅度统计
Table 1 Statistics of temperature sudden rise

日期 (月-日)	突变前 温度/℃	突变后 温度/℃	温度上升 幅度/℃
11-23	-3.76	-0.06	3.7
11-26	-1.91	-0.05	1.86
11-30	-2.26	-0.06	2.20
12-01	-2.93	-0.06	2.87
12-08	-4.86	-0.05	4.81
12-13	-1.64	-0.06	1.58
12-21	-3.92	-0.23	3.69

表 2 自动化检测装置检测与人工观测结果对比
Table 2 Contrast results between artificial
observation and automatic observation device

日期 (月-日)	人工观 测结果	装置检 测结果	日期 (月-日)	人工观 测结果	装置检 测结果
11-15	结冰	结冰	12-03	结冰	结冰
11-17	结冰	结冰	12-04	结冰	结冰
11-23	结冰	结冰	12-05	结冰	结冰
11-24	结冰	结冰	12-06	结冰	结冰
11-25	结冰	结冰	12-07	结冰	结冰
11-26	结冰	未结冰	12-09	结冰	结冰
11-29	结冰	结冰	12-13	结冰	结冰
11-30	结冰	结冰	12-19	结冰	未结冰
12-01	结冰	结冰	12-21	结冰	结冰
12-02	结冰	结冰	12-23	结冰	结冰

从表 1 可以看出,结冰自动化检测装置检测结冰现象的发生的准确率还是比较高的。在 20 次结冰过程中识别软件检测到了 18 次结冰现象的发生。11 月 26 日和 12 月 19 日未检测到结冰的原因是铂电阻探头未正确放置,没有正确地反映水体温度变化,铂电阻应该恰好被水淹没。如果完全漂在水面上或者在水很深的位置,将对结冰的正确判断造成

影响。因而造成水体温度下降幅度很小,没有明显的温度突变现象,未满足软件识别条件。

4 结 论

(1) 结冰自动化观测装置是一种检测水结冰释放潜热、造成温度突升到 0℃ 的传感器。

(2) 通过结冰温度观测数据分析发现:结冰过程中都存在一个明显的温度突变上升过程,温度上升的幅度在 1.58~3.7℃ 之间。因此温度突变可以作为结冰现象的判断标志。

(3) 2012 年 11—12 月进行结冰试验 20 次,自动化观测装置能够准确地检测到结冰过程 18 次,检测的准确率高。

下一步将对不同天气条件下,温度突变上升的不同幅度的规律进行研究;铂电阻在水中不同的位置与结冰的关系进行研究。针对个别情况未能正确地识别结冰现象,将对装置不断进行完善,以便使装置更好地工作。

参考文献

丁立勋,何立涛. 2006. 冰传感器的设计. 传感器与微系统,25(4):46-48.

樊玲. 2006. 结冰融冰过程的数值模拟. 南京航空航天大学硕士学位论文.

李辉. 2007. 非接触式结冰探测技术的研究. 华中科技大学硕士毕业论文.

李蕊,牛生杰,汪玲玲,等. 2011. 三种下垫面温度对比观测及结冰气象条件分析. 气象,37(3):325-333.

刘中良,马重芳,孙旋. 2003. 相变潜热随温度变化对固-液相变过程的影响. 太阳能学报,24(1):53-57.

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.

秦建敏,程鹏,李霞. 2007. 电容式冰层厚度传感器及其检测方法的研究. 微纳电子技术,7(7):185-187.

曲凯阳,江亿. 2003. 各种因素对过冷水发生结冰的影响. 太阳能学报,24(6):814-816.

杨蓉,张杰,郑英,等. 2010. 结冰探测技术研究. 电子测量与仪器学报,24(增刊):199-206.

张杰,周磊,张洪,等. 2006. 飞机结冰探测技术. 仪器仪表学报,27(12):1578-1586.

中国气象局. 2003. 地面气象观测规范. 北京:气象出版社,21-27.

邹建红,叶林,安洁,等. 2012. 用于气象观测的光纤结冰探测仪. 仪表技术与传感器,4(4):15-18.

Roy S, Izad A, DeAnna R G, et al. 1988. Smart ice detection systems based on resonant piezoelectric Transducer. Sensors and Actuators Physical,69(3):243-250.

Ilikiades A A. 2007. Direct ice detection based on fiber optic sensor architecture. Applied Physics Letters,91(10):1-3.