

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.

基于气象规范的电线积冰自动监测系统的研究^{* 1}

郑利兵¹ 陈 林² 林云生¹ 王柏林³ 殷伯华¹ 初明璋¹ 韩 立¹

1 中国科学院电工研究所, 北京 100190

2 贵州省威宁县气象局, 威宁 553100

3 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

提 要: 针对目前气象领域内电线积冰人工观测工作强度大、效率低、准确率差, 而且观测数据不连续、无实时性等现状, 提出了以气象规范中使用的电线架为基础而构建的电线积冰自动监测系统。系统不仅能实时连续地监测并显示积冰的重量, 而且具有防水、防冻、易装配等特点。经过贵州省威宁县野外场地实测后, 系统监测到了连续的积冰重量数据, 达到了预期的目的。这将有助于气象部门降低电线积冰观测的劳动强度、提高观测效率以及准确率。

关键词: 气象规范, 电线架, 封装结构, 积冰, 监测系统

Investigation on Monitoring System of Electric Wire with Ice Accretion Based on the Meteorological Technical Standards

ZHENG Libing¹ CHEN Lin² LIN Yunsheng¹ WANG Bailin³
YIN Bohua¹ CHU Mingzhang¹ HAN Li¹

1 Electric Engineering Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

2 Weining Meteorological Office of Guizhou Province, Weining 553100

3 Meteorological Observation Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract: Because the current situation of manual observations of electric wire with ice accretion is a body of work, inefficient and low accurately, moreover the recorded data are discontinuous and real-time poorly, it is proposed that the monitoring system of the electric wire with ice accretion is built on the frame of electric wire used in the meteorological technical standards. The system not only measures in real time and displays the weight of ice accretion, but also has the ability of water-proofing, freeze-proofing, easy-to-assemble and so on. After the performance test in Weining County of Guizhou Province, the system is able to monitor the continuous data of ice accretion weight, and achieves the expected objective. This is helpful for reducing labor intensity and increasing the observation efficiency.

Key words: meteorological technical standards, frame of electric wire, packaging structure, ice accretion, monitoring system

引 言

我国长江以南部分省区独特的地形、地貌条件以及普遍存在的微地形、微气象决定了这些省区是

因冻雨、雨淞而覆冰较为严重的地区之一。在许多地区因冻雨覆冰而使输电线路的荷重增加, 造成断线、倒杆(塔)、闪络等事故, 造成了巨大的经济损失。据不完全统计, 20 世纪 50 年代以来发生过冰灾事故上千次^[1-5]。特别是 2005 年 12 月和 2008 年 1 月

* 公益性行业(气象)科研专项经费项目“电线结冰自动化观测设备及应用技术研发”(GYHY200806035)

2009 年 6 月 23 日收稿; 2010 年 3 月 26 日收修定稿

第一作者: 郑利兵, 主要从事 MEMS 器件及系统设计方法的研究。Email: ieezlb@mail. iee. ac. cn

至 2 月,我国南方地区发生的罕见覆冰灾害,造成了重大经济损失,同时也给人民生活带来较大的影响。

鉴于覆冰带来的巨大灾害,对气象部门的电线积冰观测就提出了更高的要求。如果在一定时间段内实现自动地、不间断地监测电线积冰的相关参数,将会为气象部门提供准确、及时的观测数据,进而为气象部门分析、预报覆冰气候提供可靠的依据。

目前,气象领域内对于覆冰的预报一般采用基于气象规范的电线积冰架,如图 1 所示,但是其取冰和测量过程皆由人工来完成,这不仅增加了工作人员的劳动强度,而且也大大降低了电线积冰观测的效率和准确率,同时也很难得到连续实时的电线积冰数据。到目前为止关于电线积冰自动监测系统的研究还未见到相关报道。因此,如果能在符合气象规范的电线积冰架的基础上,构建一套自动积冰监测系统,势必为气象部门降低工作强度、提高观测准确率、提供连续实时的电线积冰观测数据奠定坚实的基础。

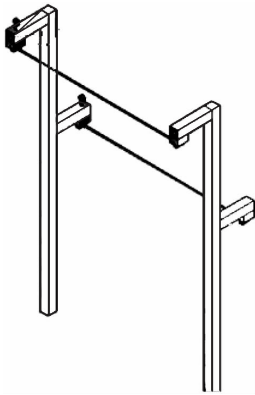


图 1 电线积冰架

Fig. 1 Frame of electric wire with ice accretion

为此,本文介绍的研究工作从目前我国气象部门的积冰监测装备出发,提出了基于气象规范的电线积冰架而构建实时监测覆冰参数系统的设计思想,目的是能准确及时地给出与覆冰有关的参数信息,为气象部门研究各种厚度积冰气象条件,找到不同电线覆冰厚度的临界气象条件提供有意义的依据。

1 基于气象规范的电线积冰自动监测系统

1.1 工作原理

基于气象规范的电线积冰架而构建的电线积冰

自动监测系统的工作原理如图 2 所示。

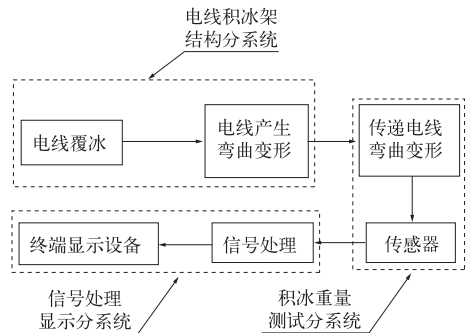


图 2 工作原理框图

Fig. 2 The block diagram of the monitoring system

当电线积冰后,电线因积冰而发生弯曲变形,装在电线两端的重量传感器通过封装结构实时、正确地将电线变形传递给重量传感器,最后由重量传感器将电线因积冰而产生的变形量以电压信号或者电流信号的形式经过信号处理后,将积冰重量显示在终端设备上。

1.2 积冰重量监测的力学模型^[6]

从结构力学的角度可以将电线积冰重量测试系统看作为弹性梁在二维空间按一定角度相互连接而成的平面刚架结构,其因电线积冰而产生的变形可以基于结构力学的能量法进行计算,其简化的力学结构如图 3 所示。

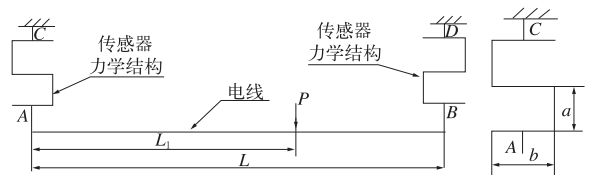


图 3 积冰重量测试的力学模型

Fig. 3 The mechanical model of monitoring the weight of ice accretion

(1) 基于能量法构件变形能的计算

电线积冰重量测试从结构力学角度可以看作是平面刚架,当其受到外力作用时,其结构变形主要是横力弯曲变形,其变形能为:

$$U = \sum_0^l \frac{M^2(x)}{2EI} dx \quad (1)$$

式(1)中 $M(x)$ 为结构中任一横截面上的弯矩表达式。

(2) 基于能量法构件变形量的计算

对于弹性体线性段的计算,一般利用基于能量法的卡式定量,

$$\delta = -\frac{\partial U}{\partial F} = \sum \int_0^l \frac{M(x)}{EI} \cdot \frac{\partial M(x)}{\partial F} dx \quad (2)$$

即变形成能 U 对任一外力 F 的偏导数,等于 F 力作用点沿 F 作用方向的位移。

为了阐述系统工作原理,以如下算例进行说明,设电线受到广义载荷 P 的作用,S型传感器的垂直梁长度为 a ,水平梁的长度为 b ,弹性模量为 E ,惯性矩为 I 。

如图 3 所示,当电线因积冰而受到载荷 P 时,基于结构力学的理论可以计算出传感器和电线连接处 A 、 B 的作用力分别为:

$$F_A = \frac{L - L_1}{L} P \quad (3)$$

$$F_B = \frac{L_1}{L} P \quad (4)$$

基于式(1)、(2)、(3)和(4)可以计算得到 A 、 B 两点在力 P 的作用下变形量分别为:

$$\delta_A = \frac{P(\frac{L - L_1}{L})}{EI} (\frac{3b^3}{8} + \frac{3ab^2}{2}) \quad (5)$$

$$\delta_B = \frac{P(\frac{L_1}{L})}{EI} (\frac{3b^3}{8} + \frac{3ab^2}{2}) \quad (6)$$

结构总的变形量为:

$$\delta = \delta_A + \delta_B = \frac{P}{EI} (\frac{3b^3}{8} + \frac{3ab^2}{2}) \quad (7)$$

式(7)中的变形量通过贴在传感器上的电阻应变片转化为电压或者电流信号,经过变送器放大后,送入信号处理分系统,最后经过软件计算得到积冰重量,并显示在终端设备上。

1.3 系统构成及各分系统的设计标准

电线积冰自动监测系统主要由以下分系统构成。

1.3.1 电线积冰架结构分系统

此分系统采用气象规范中所使用电线积冰架,主要用来搭载积冰重量测试分系统。

考虑到电线积冰监测系统主要应用覆冰严重的山区,为了方便搬运,电线积冰架设计标准是易装配、易拆卸。

1.3.2 积冰重量测试分系统

该分系统主要由两只满足测量精度要求的传感

器及其封装结构装配而成。

(1) 积冰重量测试传感器的设计

根据电线积冰架的结构以及测试精度,设计了如图 4 所示的 S 型重量测试传感器。

(2) 传感器封装结构的设计

传感器的封装结构主要用来保护传感器避免雨水侵蚀、积冰而降低其性能,同时又要保证能将电线积冰产生的变形实时、正确地传递到传感器。基于此,传感器封装结构的设计以传递变形、防冻、防水和易装配为设计指标。

基于所提出的设计指标,封装结构的接合面应尽可能少,以此提高防冻、防水的能力。结构通过螺纹连接不仅减少了接合面,而且装配起来更容易。同时和传感器、电线端头连为一体,能实时、正确地传递电线覆冰后的变形。

如图 5 所示为基于上述设计指标设计的传感器封装结构。

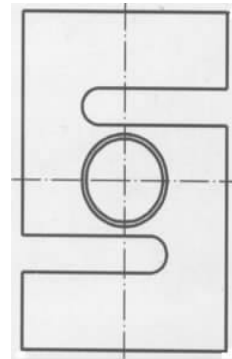


图 4 S型传感器

Fig. 4 S-type sensor

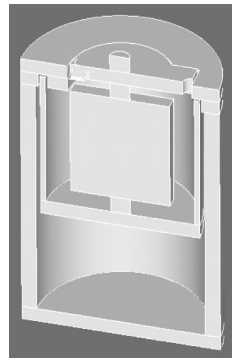


图 5 封装结构

Fig. 5 Packaging structure

该结构的特点:

(1) 整套结构采用圆柱体结构,分为上下两部分,并通过内螺纹进行连接。

(2) 和传感器相连的用于传递变形的结构为圆柱筒形,其上端嵌入到传感器上罩端部的凹槽里。

这样,将传感器完全被封装,从而大大提高了覆冰测试分系统的防冻、防水能力以及以装配性。

经过相应的低温性能测试后,验证了所期望的性能。

1.3.3 信号传输、处理及显示分系统

此分系统的主要功能是将积冰重量测试分系统的测试信号传输、处理并最终显示在终端设备上。

此分系统的设计指标主要是实时性、连续性和准确性。

该分系统是基于 PC-104 控制系统而构建。

PC-104 的特点:

- (1) PC-104 是一种主流的嵌入式控制系统;
- (2) PC-104 有较好的软、硬件支持;
- (3) 模块化设计,有很好的抗干扰性;
- (4) 下位机采用 Linux 操作系统,实时性好;
- (5) 上、下位机用网络接口连接,适应性好;
- (6) 上位机可使用各种操作系统,开发环境友好。

以上述的设计指标和设计思路,完成了基于气象规范的电线积冰自动监测系统的样机,并在实验室条件下进行了较为全面的测试,其性能达到了预期的设计目标。

2 贵州省威宁县场地试验

由于电线积冰自动监测系统属于计量重量的仪器,因此在安装使用前必须进行标定。为此采用符合国家计量标准的砝码来对电线积冰自动监测系统标定。

2009 年 1 月带着标定好的样机在冻雨、雨淞发生比较频繁和严重的贵州省威宁县进行了场地实测,如图 6 所示为场地实测系统图。



图 6 贵州省威宁县场地实测

Fig. 6 The field test in Weining County of Guizhou Province

从 1 月 22 日到 30 日,连续不间断地测试了 8 天,获得了电线积冰重量随时间变化的数据,如图 7 所示为电线积冰的重量随时间变化的曲线。

从 1 月 22 日 20:30 开始监测到 1 月 30 日 8:22 结束,为一个完整的积冰、融冰过程,从图中可以看出,在 1 月 22 日 20:30 到 1 月 24 日 10:55 这段时间,电线积冰重量约为 10 g 左右,从 1 月 24 日 10:55 以后有一个明显的积冰过程,到 1 月 26 日晚上 10 时左右,积冰重量达到了最大值,约为 150 g 左右,此后,开始了融冰过程,其间又有两次小的积冰过程。

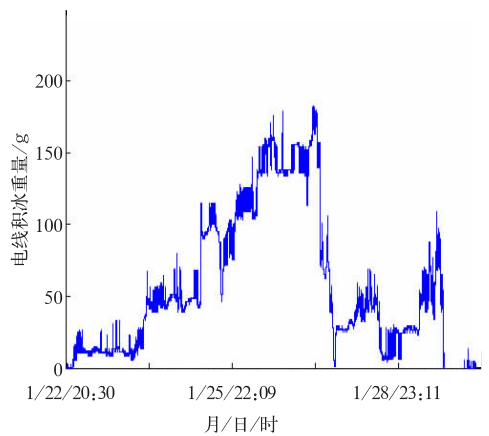


图 7 2009 年 1 月 22 日 20:30 至 2009 年 1 月 30 日 8:22 连续监测的数据

Fig. 7 The continuous monitoring data during 20:30 BT 22 January to 08:22 BT 30 January 2009

为了验证所测数据的准确性,和威宁县气象局用传统方法监测的积冰重量数据(表 1 所示)进行了对比。

表 1 人工观测的数据

Table 1 Manued observed data

	直径/mm	厚度/mm	重量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$
1 月 23 日	5	4	
1 月 25 日	10	6	40
1 月 27 日	15	7	64
1 月 29 日	5	4	

从图 7 中可以看出,在 1 月 25 日上午 10:00 左右,电线积冰重量约为 50 g,而表 1 中显示的此时人工观测的数据约为 40 g,二者的误差为 25%;在 1 月 27 日上午 10:00 左右,电线积冰重量约为 100 g,而表 1 中显示的此时人工观测的数据约为 64 g,二者的误差为 50%。

经过分析,认为造成自动监测和人工观测之间

误差的原因是:

(1) 系统所在的高度不同,自动监测系统传感器安装在观测场东北面四层办公楼屋面,传统电线积冰架安装在观测场内,两者相差 10 m 左右;

(2) 自动监测系统传感器的四周无遮挡物,开阔;而传统的电线积冰架安装在观测场内,四周有建筑物,不开阔;

(3) 用传统方法测量一次结冰过程的最大重量时,受测量工具等因素造成测量值偏小。

(4) 风对电线积冰自动监测系统也造成了一定的影响,使得监测系统的测量值可能偏大;具体分析过程如下。

在气象领域里一般采用贝努利方程来确定基本风压^[7],如式(8)所示,

$$W_0 = \frac{1}{2} \rho V_0^2 \quad (8)$$

式(8)中, W_0 是风压; $\rho = 1.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 是标准状态下的空气密度; V_0 是风速。

由于空气密度因大气压、水汽压、温度的不同而不同,因此采用如下公式来计算不同地理位置的空气密度,如式(9)所示:

$$\rho = \frac{1.276}{1 + 0.00366t} \left[\frac{p - 0.378e}{1000} \right] \quad (9)$$

式(9)中, e 为水汽压,单位:hPa; t 为温度,单位:°C; p 为大气压,单位:hPa。

对于图 6 所示的电线积冰自动监测系统中所用的测重传感器只对重力方向的外力敏感,而对其他方向的外力不敏感。根据这一事实,只考虑和重力方向一致的风对系统的影响。

根据威宁气象局提供的实时气象资料,计算得到了 1 月 25 日上午 10:00 时系统所受的风力约为 0.019 N,相当于 1.9 g;而 1 月 27 日上午 10:00 时

系统所受的风力约为 0.0139 N,相当于 1.39 g。

由上述计算可以看出,风对监测系统的影响较小。尽管如此,在下一步的研究中,将为系统增加监测风速、风压的功能,在监测积冰的同时获得实时的风速、风压等参数,以此来对积冰数据进行修正,使电线积冰自动监测系统监测的积冰数据更为准确。

3 结 论

研究并制成了基于气象规范的电线积冰自动监测系统,该系统能实时、可靠地记录覆冰的重量,通过监测得到的数据,可以为气象部门研究各种厚度积冰气象条件,找到不同电线覆冰厚度的临界气象条件提供有意义的依据,同时也为下一阶段研制野外无人值守、网络分布的电线积冰自动监测系统奠定了基础。

参考文献

- [1] 吴晓. 2008 年初全国雨雪冰冻天气的 OLR 的资料分析[J]. 气象, 2009, 35(4): 87-93.
- [2] 林良勋, 吴乃康, 蔡安安, 等. 广东 2008 年低温雨雪冰冻灾害及气象应急响应[J]. 气象, 2009, 35(5): 26-33.
- [3] 王晓兰, 李象玉, 黎祖贤, 等. 2005 年湖南省特大冰冻灾害天气分析[J]. 气象, 2006, 32(2): 87-91.
- [4] 尤立宏, 胡毅, 李景禄, 等. 输电线路冰害事故统计分析及防止措施研究[J]. 电力设备, 2006, 7(12): 26-28.
- [5] 曹岚. 输电线路覆冰影响及除冰技术综述[J]. 浙江电力, 2008(4): 29-32.
- [6] 任文敏, 陈艳秋, 范钦珊. 材料力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004, 233-253.
- [7] 袁春红, 薛桁, 杨振斌. 建筑风荷载风压计算中的若干问题[J]. 气象, 2002, 28(1): 39-42.