

# Prediction Method of Ice Thickness for Transmission Lines under Micro-Meteorological Conditions

Xuyong Huang<sup>1</sup>, Yuan Yao<sup>2</sup>, Liqiang Qi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Power Science Research Institute, Yunnan Power Grid Limited Liability Company, Kunming Yunnan

<sup>2</sup>College of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Baoding Hebei

Email: \*qi\_liqiang@163.com

Received: Feb. 16<sup>th</sup>, 2018; accepted: Mar. 1<sup>st</sup>, 2018; published: Mar. 8<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

During the long-time open air operations, transmission lines in the power grid are vulnerable to various natural disasters. In particular, ice covered lines will cause large power outages around the icing area, even the collapse of the local power grid, resulting in huge economic losses. Therefore, the prediction method for icing thickness of transmission line is studied. By acquiring the icing environmental parameters in period I and the initial radius, the mass of coating ice per unit of transmission line is calculated, and then the total ice thickness in the whole line is obtained. Through the verification of real example, it is found that the prediction error of the ice thickness is less than 5%; it can improve the accuracy of ice thickness measurement of the transmission line and a guarantee for the safe operation of transmission lines.

## Keywords

Safe Operation of Circuit, Micro Meteorology, Ice Coating Environmental Parameters, Icing Quality, Icing Thickness

---

# 微气象条件下输电线路覆冰厚度预测方法

黄绪勇<sup>1</sup>, 姚 远<sup>2</sup>, 齐立强<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>云南电网有限责任公司电力科学研究院, 云南 昆明

<sup>2</sup>华北电力大学环境科学与工程学院, 河北 保定

Email: \*qi\_liqiang@163.com

收稿日期: 2018年2月16日; 录用日期: 2018年3月1日; 发布日期: 2018年3月8日

---

\*通讯作者。

## 摘要

电网在长期露天运行过程中,输电线路极易遭受各种自然灾害,其中线路覆冰会引起覆冰区域周边大面积停电,甚至使当地电网崩溃,造成巨额经济损失。因此,对输电线路覆冰厚度预测方法进行了研究。通过获取第*i*时间段初始导线半径和第*i*时间段覆冰环境参数,计算第*i*时间段单位长度线路覆冰质量,再根据所述覆冰质量,计算第*i*时间段的覆冰厚度,从而获得覆冰总厚度。经过实例认证,该覆冰厚度的预测误差在5%以内,可以提高输电线路覆冰厚度测量的准确性,为输电线路的安全运行提供了保障。

## 关键词

电路安全运行,微气象,覆冰环境参数,覆冰质量,覆冰厚度

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 绪论

电力是关系国计民生的重要能源,电网是输送和分配电能的重要环节,现代社会对电力供应的可靠性要求越来越高,电网安全的地位比以往任何时候都更加重要。受大气候、微地形和微气象条件的影响,我国成为遭受覆冰灾害最严重的国家之一,冰灾事故频繁发生,覆冰引起事故的直接原因都是大范围、长时间的低温、雨雪冰冻天气,但同时也反映出电网抵御恶劣气候能力不足,缺乏在第一时间掌握线路运行情况的手段,因此对输电线路覆冰预测的研究有着重大的现实意义。

### 1.1. 覆冰增长预测模型

在雾凇和雨凇以及混合凇当中,其各种类型的粘附力不同,密度也不相同,对架空线路构成的危害大小也不同,特别是在线路舞动下的危害不同。特别,由于雨凇密度大,粘附力强,给线路造成的危害也特别大。国内外各个研究单位对覆冰生成及增长的机理做了大量有益的探索,取得了较多成果。中南电力设计院和江西电科院发现了架空输电线路覆冰厚度与地形、风速、海拔高度、导线类型以及布置方式等因素有关[1] [2]; Poots G 和 Skelton P.L.I [3]最先建立了三维动态模型并用其来模拟架空线路表面覆冰过程,首次揭示了风对覆冰外形的影响,从统计学的角度揭示出覆冰增长和各种气象条件的内在联系[4]。云南电力设计院[5]发现了微气象、微地形对云南输电线路覆冰的影响;中国西南电力设计院研究了导线覆冰与气象之间的关系,利用回归分析法建立了冰重与气象要素之间的定量关系[6]。西安工程大学[7]发现了线路覆冰与局部气象的关系,用灰关联方法给出了微气象因素对影响覆冰的重要程度的排序。Konstantin Savadjiev 等人较为理想地测量了实验输电线路的环境温度、风速、降水量等微气象参数,首次建立了覆冰增长与微气象之间的关系并用来预测覆冰增长趋势[8]。到目前为止,这些模型均较为复杂,需要采集的现场微气象参数较多,对采集终端的传感器要求较高。

### 1.2. 覆冰厚度预测

一般情况下,使用电网的覆冰厚度来表征电网的覆冰状态。20世纪70年代,学者们已开始进行覆冰厚度检测方法研究,最早期采用量器具检测法,即用外钳夹在冰凌模拟线上,用米尺测量覆冰直径和厚度,

然后根据直径和厚度计算覆冰厚度。但用量器具检测冰层的直径、厚度数值计算出导线覆冰厚度，未能考虑冰的比重，导致测量不准确。随后，又出现了称重法。称重法即冰样称重检测法，先称取一长导线上的冰层重量，折算出每米导线上的覆冰重量  $G$ ，再用设计时所用计算公式算出导线的平均等价覆冰厚度。

然而，称重法用量器具检测覆冰厚度，虽然相对于量具检测法前进了一步，但取自模拟线段的冰样往往与实际运行导线上的有出入，导致测量结果不准确。

因此亟待提供一种新的输电线路覆冰厚度预测方法。

## 2. 微气象条件下输电线路覆冰厚度预测方法

本文在微气象条件下提供了一种输电线路覆冰厚度预测方法，通过获取第  $i$  时间段初始导线半径和第  $i$  时间段覆冰环境参数，计算第  $i$  时间段单位长度线路覆冰质量，再根据所述覆冰质量，计算第  $i$  时间段的覆冰厚度，从而获得覆冰总厚度。

如图 1 所示，覆冰厚度预测方法可分为如下六个步骤。

步骤一：获取输电线路的环境相对湿度、环境温度；根据所述环境相对湿度和所述环境温度，判断所述输电线路是否满足覆冰条件，所述覆冰条件包括：相对环境湿度大 85%，且所述环境温度小于  $0^{\circ}\text{C}$ ；当所述输电线路满足覆冰条件时，执行下一步，否则输出所述总覆冰厚度为零。

步骤二：获取预测时间，并将所述预测时间划分为  $n$  个时间段，其中， $n$  为自然数；

步骤三：获取第  $i$  时间段的初始导线半径和第  $i$  时间段的覆冰环境参数，其中，所述覆冰环境参数包括碰撞率、捕获率、冻结率、空气水含量和风速， $i$  为自然数， $i \leq n$ ；

步骤四：根据所述初始导线半径和覆冰环境参数，计算第  $i$  时间段的冻结率；

其中，所述冻结率的计算公式为：

$$\alpha_{3i} = 2R_{i-1}W_iV_i$$

式中， $\alpha_{3i}$  为第  $i$  时间段的冻结率， $W$  为第  $i$  时间段的空气水含量， $R_{i-1}$  为第  $i$  时间段初始时刻的覆冰厚度， $V_i$  为第  $i$  时间段液滴的碰撞速度。

步骤五：根据所述导线半径和覆冰环境参数，计算第  $i$  时间段的单位长度线路的覆冰质量；

判断所述冻结率是否为 1；当所述冻结率为 1 时，根据湿增长冰密度，计算第  $i$  时间段的单位长度线路的覆冰质量；

根据湿增长冰密度，计算第  $i$  时间段内的覆冰质量的公式为：

$$M_i = 2 \int_{\tau_{i-1}}^{\tau_i} R_{i-1}(\tau) \alpha_{1i}(\tau) \alpha_{2i}(\tau) \alpha_{3i}(\tau) w_i(\tau) v_i(\tau) d\tau$$

式中， $M_i$  为第  $i$  时间段单位长度线路的覆冰质量； $R_{i-1}$  为第  $i$  时间段的初始导线半径； $\alpha_{1i}$  为第  $i$  时间段的碰撞率； $\alpha_{2i}$  为第  $i$  时间段的捕获率； $\alpha_i$  为第  $i$  时间段的冻结率； $w_i$  为第  $i$  时间段的空气水含量； $v_i$  为第  $i$  时间段的风速； $\tau$  为时间。

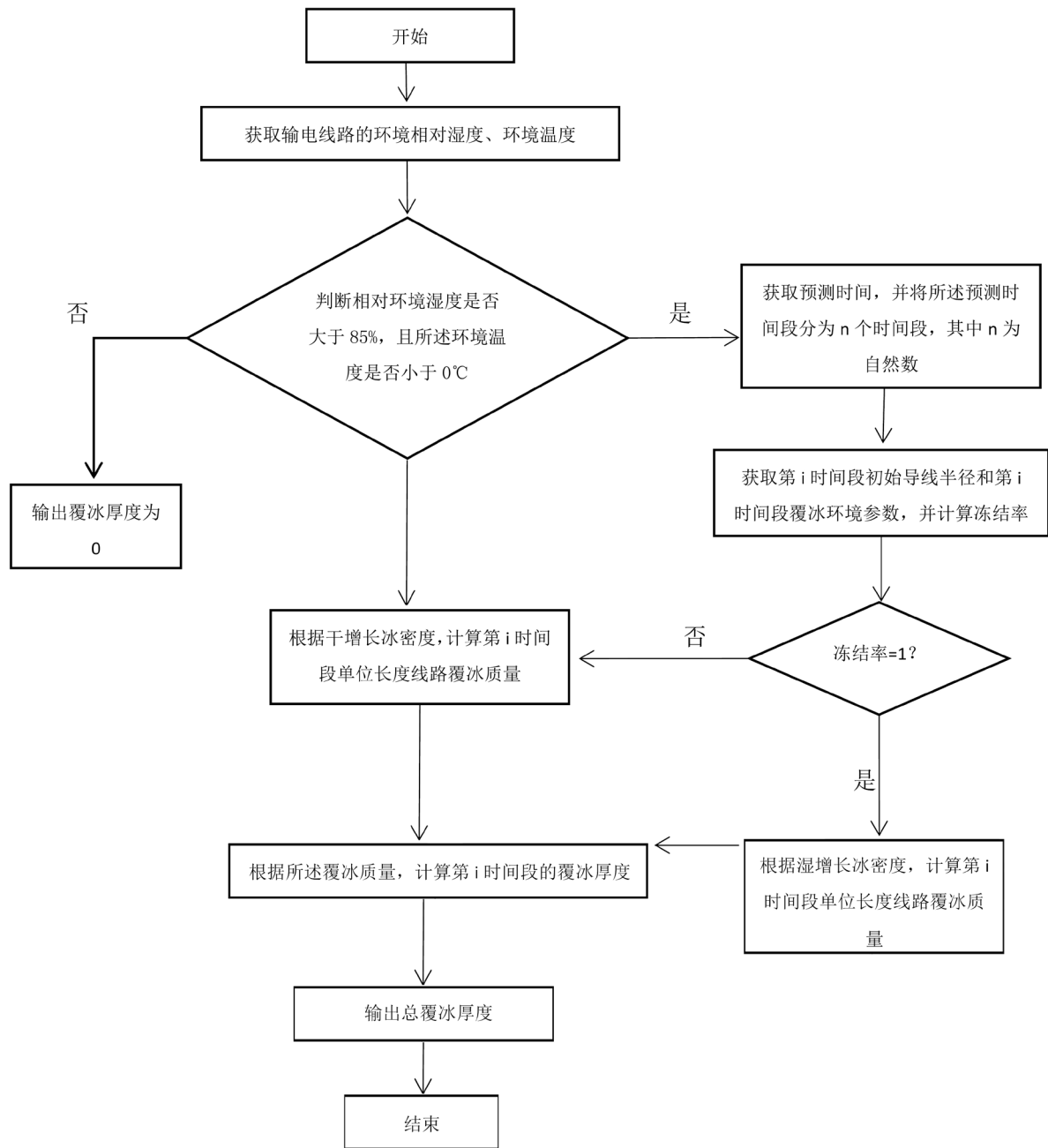
当所述冻结率不为 1 时，根据干增长冰密度，计算至第  $i$  时间段的单位长度线路的覆冰质量。

干增长冰密度的计算公式为：

$$\rho_{wi} = \rho_i \alpha_{1i} T_{si}$$

其中， $\rho_{wi}$  为第  $i$  时间段的干增长冰密度， $\rho_i$  为第  $i$  时间段的湿增长冰密度； $\alpha_{1i}$  为第  $i$  时间段的碰撞率； $T_{si}$  为第  $i$  时间段的温度值。

根据干增长冰密度，计算第  $i$  时间段内的覆冰质量的公式为：



**Figure 1.** Framework diagram of method for prediction of ice thickness  
**图 1.** 覆冰厚度预测方法框架图

$$M_i = 0.785R_{i-1}^2\rho_{wi}$$

式中， $M_i$ 为第  $i$  时间段内的覆冰质量； $R_{i-1}$ 为第  $i$  时间段的初始导线直径； $\rho_{wi}$ 为第  $i$  时间段的干增长冰密度。

步骤六：根据所述覆冰质量，计算第  $i$  时间段的覆冰厚度；

第  $i$  时间段末的导线直径的计算公式：

$$R_i = \sqrt{\frac{M_i}{\pi\rho} + R_{i-1}^2}$$

**Table 1.** Statistical table of forecasting data of icing thickness of transmission lines in a certain area  
**表 1.** 某地区输电线路覆冰厚度预测数据统计表

时间(min)	碰撞率 $\alpha_1$	捕获率 $\alpha_2$	冻结率 $\alpha_3$	空气中液水含量 $w(\text{g}/\text{m}^3)$	风速 $v(\text{m}/\text{s})$	覆冰质量 $M(\text{kg}/\text{m})$	覆冰厚度预测值 $D(\text{mm})$	实际覆冰厚度 $d(\text{mm})$	覆冰密度 $(\text{g}/\text{cm}^3)$
12:00~12:10	0.53		0.65			21.35	0.34	0.313	
12:10~12:20	0.54		0.68			22.78	0.29	0.28	
12:20~12:30	0.55		0.70			22.97	0.25	0.23	
12:30~12:40	0.55	1	0.73	1.2	10	23.26	0.22	0.21	0.913
12:40~12:50	0.56		0.75			23.37	0.20	0.18	
12:50~13:00	0.56		0.77			23.76	0.19	0.18	

其中,  $M_i$  为初始时刻至第  $i$  时间段末的单位长度线路的覆冰质量;  $\rho$  为冰的密度;  $R_i$  为第  $i$  时间段末的导线半径;  $R_0$  为导线半径。

第  $i$  时间段覆冰厚度的计算公式为:

$$D_i = R_i - R_{i-1}$$

其中,  $D_i$  为第  $i$  时间段内的覆冰厚度;  $R_i$  为第  $i$  时间段末的导线直径;  $R_{i-1}$  为第  $i-1$  时间段末的导线直径。取  $i = i + 1$ ,  $i \in [1, n]$ , 重复执行步骤二到步骤六, 直至  $i = n$ , 输出预测时间内的总覆冰厚度, 计算结束。

### 3. 实例验证

以云南某地区的输电线路为例, 对本文提供的一种输电线路覆冰厚度预测方法进行详细的说明。在实例中, 导线类型为 LGJQ-300 钢芯铝绞线, 其外径  $R_0 = 13.6 \text{ mm}$ 。

获取的预测时间为云南某地区某天 12:00~13:00, 总预测时间长度为 1 h。将该预测时间每间隔 10 min 划分为一个时间段, 即划分为 6 个时间段, 此时  $n = 6$ 。划分后的时间段分别包括, 第 1 时间段 12:00~12:10; 第 2 时间段 12:10~12:20; 第 3 时间段 12:20~12:30; 第 4 时间段 12:30~12:40; 第 5 时间段 12:40~12:50; 第 6 时间段 12:50~13:00。

表 1 为获得的覆冰厚度预测结果。参见表 1, 在实例中, 第 1 时间段的覆冰厚度为 0.34 mm; 第 2 时间段的覆冰厚度为 0.29 mm; 第 3 时间段的覆冰厚度为 0.25 mm; 第 4 时间段的覆冰厚度为 0.22 mm; 第 5 时间段的覆冰厚度为 0.20 mm; 第 6 时间段的覆冰厚度为 0.19 mm。由此可知, 该预测时间内, 总覆冰厚度的预测值为 1.49 mm。

另外, 表 1 提供了在该预测时间内, 该预测时间内, 总覆冰厚度的实际值为 1.37 mm。由上述内容可知, 该覆冰厚度的预测误差在 5% 以内, 属于正常的误差范围之内, 因此, 本文提供的输电线路覆冰厚度预测方法, 能够对输电线路的覆冰状态进行准确的预测, 减少因线路覆冰造成的损失。

### 4. 结论

在微气象条件下通过获取第  $i$  时间段初始导线半径和第  $i$  时间段覆冰环境参数, 计算第  $i$  时间段单位长度线路覆冰质量, 再根据所述覆冰质量, 计算第  $i$  时间段的覆冰厚度, 从而获得覆冰总厚度。并对实际输电线路覆冰量厚度进行了预测。实例验证结果表明, 运用该方法可以更准确地预测输电线路覆冰厚度, 为输电线路的安全运行提供了保障。

### 参考文献

- [1] 张昕宇. 输电线路覆冰机理浅析[J]. 江西电力, 2008, 32(2): 46-47, 56.

- 
- [2] 魏其巍. 电线覆冰机理分析及在工程设计中的应用[J]. 电力建设, 2007, 28(3): 26-28.
- [3] Skelton, P.L.I. and Poots, G. (1990) Dynamical Model of Rime-Ice Accretion on an Overhead Transmission Line of Finite Torsional Stiffness. *Mathematical Engineering in Industry*, **3**, 1-24.
- [4] Savadjiev, K. and Farzaneh, M. (2004) Modeling of Icing and Ice Shedding on Overhead Power Lines Based on Statistical Analysis of Meteorological Data. *Transactions on Power Delivery*, **19**, 715-721. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2003.822527>
- [5] 王守礼, 李家垣, 等. 云南高海拔地区电线覆冰问题研究[M]. 昆明: 云南科学技术出版社, 1993.
- [6] 谢运华. 三峡地区导线覆冰与气象要素的关系[J]. 中国电力, 2005, 38(3): 35-39.
- [7] 欧阳丽莎, 黄新波. 基于灰关联分析微气象因素和导线温度对输电线路导线覆冰的影响[J]. 高压电器, 2011, 47(3): 31-36.
- [8] Farzaneh, M. and Savadjiev, K. (2005) Statistical Analysis of Field Data for Precipitation Icing Accretion on Overhead Power Lines. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **20**, 1080-1087. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.838518>

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2333-5394, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)