

⑬ 16-19

三峡地区导线覆冰的特性及雾凇覆冰模型

蒋兴良 孙才新 顾乐观 陆宠惠

TM752

(重庆大学电气工程系, 重庆, 400044; 第一作者 36岁, 男, 高级工程师, 博士)

摘要 根据对鄂西及川东地区输电线路因导线覆冰引起事故的调查结果, 分析了三峡地区输电线路导线覆冰的基本特征, 并从理论上建立了导线的雾凇覆冰模型。

关键词 导线; 特征; 雾凇 / 三峡地区; 覆冰; 模型

中国图书资料分类法分类号 TM835.1

0 引言

历年来, 覆冰给三峡地区供电系统带来了巨大损失。特别是近几年来, 鄂西多次出现 500 kV 线路覆冰造成倒杆、断线和舞动事故, 经济损失惨重。目前, 防冰和除冰技术还不成熟, 在对三峡地区导线覆冰进行全面调查的基础上建立覆冰理论模型, 将对三峡电站 500 kV 线路抗冰设计中估计最大冰雪厚度和严重覆冰的重现周期具有重要的参考意义。

地处鄂西和川东的三峡地区, 是我国典型的雾凇覆冰区, 该地区平均雾凇 3~15 天/年, 该地区地形复杂, 山势起伏变化显著, 冬季西伯利亚寒流侵袭时, 常出现局部范围严重覆冰微气象区。历年来, 虽进行了一些研究和观测, 目前仍不充分了解微气象覆冰的分布和重现周期。为探索三峡地区覆冰规律, 对鄂西、川东线路冰害及覆冰规律进行了调和研究。并根据收集及在观冰站观测到的资料建立了导线覆冰模型。

1 三峡地区导线覆冰特征

1.1 导线覆冰调查

地处鄂西及川东的三峡地区线路覆冰集中在湖北钟祥、荆门西部、秭归、巴东和四川巫山、奉节, 雾凇区是葛州坝电厂及三峡电站输电工程 500 kV 出线的必经之地。在雾凇带区的影响范围内, 10~500 kV 线路都发生过冰害事故。近 20 年来, 重覆冰重现周期为 5~7 年 (如 1977 年、1982 年、1987 年及 1993 年分别出现了一次大的雾凇覆冰)。秭归、巴东、恩施和四川巫山、奉节地区的导线覆冰, 一是受这一雾凇带的影响, 二是由于山地气候条件形成了微气象云中覆冰。特别是在海拔高度超过 800 m 的山 Y 口及风口, 覆冰特别严重, 该地区观测及统计到的导线最大覆冰厚度超过 50 mm (冰密度折算为 $\geq 0.9 \text{ g/cm}^3$), 实际覆冰厚度最大达 130~280 mm (雾凇), 平均厚度大于 15 mm。

鄂西地区导线严重覆冰的地段有: 巴东、秭归和兴山县等。川东地区导线覆冰主要在巫山奉节两县。从奉节往西向上至重庆, 导线覆冰厚度逐渐减少。巫山与秭归两县是长江北岸

* 收文日期 1997-02-19

覆冰最严重的地区。30年来,巫山观测到的最大雾凇冰厚度高达50 mm以上。海拔1 100 m的巫山县驷坪大风口,最大风力达25 m/s以上(但在导线快速覆冰时,风速在3~6 m/s左右),几乎每年出现厚达35 mm以上的覆冰,其严重覆冰区半径为3 km,是典型的微气象区覆冰。秭归县境内,覆冰严重的地段处于与巫山交界的山区,海拔高度高,风力大(覆冰时风速不大,但覆冰后是大风造成线路的冰害事故),山脉呈东西走向,西北风的影响和南下寒流的侵扰是这一地区覆冰的主要特点。

按覆冰的平均厚度超过20 mm为重冰区的规定,巫山县境内没有全境的重冰区。重冰区以微地理条件出现,微气象的覆冰区主要分布在与奉节交界及与秭归、巴东交界的山区。所有的重冰区都是以山峰为中心,在山口表现最为严重。

1.2 导线覆冰特征

分析表明,地处鄂西及川东的三峡地区导线覆冰以微气象雾凇为主。该地区山脉陡峭,河流密布,主要的地理特点是南北走向并汇入长江的河流将山脉的走向划分为南北方向。输电线路由东西方向架设,必须要跨越山谷及河流,1 000 m以上的大跨越将以高频率出现。三峡地区导线严重覆冰的基本条件及特征:1) 温度为 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$,平均风速为2~6 m/s; 2) 相对空气湿度大于80%的冻雨或重雾雪天气; 3) 导线处于地势较高的山头或风口。

2 覆冰模型

2.1 雾凇冰形成过程

导线覆冰分为四类:雨凇、雾凇、雪凇和积雪。雾凇冰即混合凇,是在气温低于 0°C ,风速大于2 m/s大气覆冰。雾凇覆冰起因于空气中的湿气或云雾中的过冷却水滴。根据气象条件的不同,雾凇冰中含有一定量的空气。风速和覆冰时温度越高,雾凇冰中空气含量越低。三峡地区导线覆冰属于雾凇冰,雾凇冰的密度范围在 $100\sim 900\text{ kg/m}^3$ 之间,三峡地区各观冰站观测到的冰的密度在 $100\sim 600\text{ kg/m}^3$ 之间。

不考虑覆冰过程中的脱落现象,雾凇冰在覆冰条件不变时才能增加;覆冰速率取决于导线的形状、尺寸和表面光洁度。随着冰在导线表面积聚,即使气象条件不主为,雾凇覆冰速率在覆冰过程中也发生变化。

除靠近杆塔的导线外,雾凇覆冰基本上是圆柱形(雾凇套筒)。但在覆冰初期,导线覆冰呈翼形。随着覆冰过程的进行,偏心翼形冰使导线产生扭转,最终形成厚度差不十分明显的冰套。实际上,导线刚度沿挡距是变化的,靠近悬挂点,刚度近似无穷大,在挡距的其它部分,刚度仍很小,因此,偏心翼形冰使导线容易扭转。

2.2 雾凇覆冰物理模型

以直径为 $2R$ 的导线为研究对象,并作垂直于此导线的剖面,认为距导线较远处的气流是相互平行的,气流经过导线时被扰动,未受扰动前宽度为 G 的这股气流于导线的半圆柱表面接触($G < R$),如图1所示(G/R 是与半径为 R 的圆柱相正切的轨迹在无穷远处的坐标)。设相对于导线半圆面的风速为 $v(\text{m/s})$, θ 为吹向导线的风与导线轴夹角,并设气流中液水含量为 $w(\text{g/m}^3)$,冰的密度为 $\rho(\text{g/cm}^3)$,导线覆冰产生在迎风面半圆柱面上(如图1),则单位时间 dt 内雾凇增加的质量 dM 可表示为^[1,2]:

$$dM = 2R\alpha_1\alpha_2\alpha_3vw/\sin\theta dt \quad (1)$$

式中, l = 导线的单位长度(m); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 分别为水滴在导线表面的碰撞、收集和冻结率。

如果 dt 以秒为单位, 则 dM 以克为单位。实际计算中, v, w 可视为常数, 但 $R(t)$ 是时变的。 $E = \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 是导线直径 $2R$ 、风速 v 、水滴直径范围的函数, 并受导线表面光洁度、大气压力和空气温度的影响。图 2 是在 $T = -3.5^\circ\text{C}$ 、 $\rho = 850 \text{ kPa}$ 条件下以观冰站实测到的导线表面水滴(从上往下的水滴直径为 $12, 10, 14, 12, 10 \mu\text{m}$) 的收集率 α_2 与风速 v 、水滴直径及导线直径的关系^[2], 其中曲线 1~3 的导线直径 $D = 15.7 \text{ mm}$, 曲线 4~6 的 $D = 31 \text{ mm}$ 。

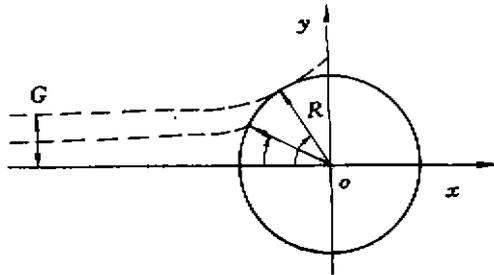


图 1 导线附近水滴轨迹

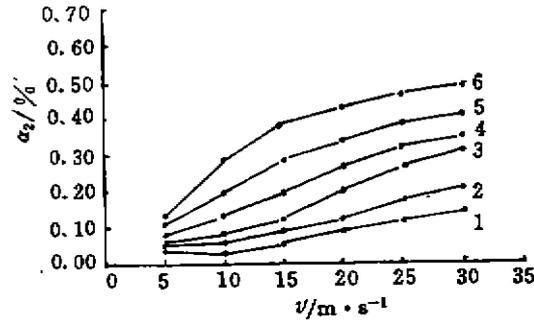


图 2 收集率随风速、水滴直径和导线直径的变化

根据假设, 可得出从 0 到 τ 的时间内导线覆冰量为:

$$M = \int_0^\tau 2R\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 v w / \sin\theta dt \quad (2)$$

其中 $\alpha_1 = A - 0.028 - C(B - 0.0454)$, $A = 1.066k^{-0.00616} \exp(-1.103k^{-0.688})$,
 $B = 3.64k^{-0.498} \exp(-1.497k^{-0.694})$, $C = 0.00637(2R - 100)^{0.381}$,

$k = \frac{d^2}{18\mu R}$, d ——水滴直径, μ ——空气绝对粘滞度,

$\alpha_2 = \frac{1}{v}$, $\alpha_3 = 1$ (雾淞覆冰为干增长, 冻结率为 1)

根据式(2)可预测或校验一定时间内导线覆冰量, 并根据密度范围计算导线覆冰厚度。

3 冰负载计算

3.1 数据提供

式(2)计算导线冰量时, 初始气象数据是由气象部门提供。具体计算时在观测现场测量:

瞬时最大风速的风向; 瞬时最大风速; 每三小时的空气温度; 每三小时的露点温度。

采用 24 小时内获得的瞬时最大风速的平均值作为计算用瞬时最大风速。根据不同观冰站的资料, 一天中最大风速与平均风速采用下述关系^[3]: $U_{\max} = 0.3U_{\text{avg}}$

在现场观冰站, 没有直接的技术措施来测量云雾中液水含量和云雾中水滴大小的分布范围。因此, 在实际中采用国际上很多次测量获得的经验数据。对普通可见云雾:

当 $w = 0.3 \text{ g/m}^3$ 时, $d = 19 \mu\text{m}$ (水滴中值体积直径);

当 $w = 0.25 \text{ g/m}^3$ 时, $d = 12 \mu\text{m}$ 。

3.2 冰负荷计算

根据式(2)用计算机计算导线覆冰量。覆冰理论模型在海拔 1 000 ~ 1 500 m 的自然观冰站的云中覆冰得到检验。计算时, 每一个时间步距内所采用的变量是:

直径和雾凇套的质量(或裸导线);大气温度和湿度;风速。

参量(在模型变化中假设为常数)是:

大气压力;云中液水含量;水滴中值体积直径。

在每一时间步距中,模拟计算:

收集率;最新积结层雾凇冰度;雾凇套最新直径和雾凇重量。

当空气温度增加到 0℃ 以上时,雾凇冰筒脱落,最新直径即导线直径,雾凇负载为 0。根据获得的观测资料计算了过去 30 年来的雾凇冰量。最大冰负载经计算达 11.2 kg/m,达到 4 kg/m 的超过 12 次。

4 结 论

- 1) 三峡地区导线覆冰以微气象区雾凇覆冰为主要特征;
- 2) 三峡地区导线覆冰是在巴东、秭归、巫山等海拔 500 m 以上的山顶;
- 3) 理论模型可用于预测和检验导线覆冰量;
- 4) 理论计算时需现场测量空气含水量、最大平均风速以及中值体积水滴直径;
- 5) 为提高计算的准确性,尚需进一步研究和实测。

参 考 文 献

- 1 Makkonen L. Atmospheric Icing on Structure. US Army CRREL Monograph, 1984, 84(2):102
- 2 Makkonen L. Ice Accretion on Cylinders and Wire. National Res Council of Can NRS Tech, 1984, TR-LF(5), 5
- 3 Macklin W C. The Density and Structure of Ice Formed by Accretion. Quart J Roy Meteor Soc, 1962, (8), 30~50

Power Lines Icing Characteristics of the Three Gorges District and a Model of the Accumulation of Ice on Electric on Electric Power Lines

Jiang Xingliang Sun Caixin Gu Leguan Lu Chonghui

(Department of Electrical Engineering, Chongqing University)

ABSTRACT Based on the study of accidents investigation of the electrical power lines because of icing in the district of Three Gorges, this paper analyzes the icing conditions and characteristics of various ice accreted and develops a model of the accumulation of hard rime on electrical lines.

KEYWORDS conducting wire; characteristic; rime / the district of the Three Gorges; icing; model