

电线积冰若干小气候特征的探讨*

谭冠日

(云南大学地球物理系)

提 要

本文根据电线积冰形成的理论,利用我国迄今唯一专设的电线积冰观测站的资料,探讨了雨凇、雾凇和混合积冰的冰厚随距地高度的变化,风与电线交角和冰厚的关系,冰厚和电线直径的关系。

电线积冰是电力、通讯等架空线路和高耸建筑物如电视塔等设计所需的一项重要气象资料。部分气象站藉雨凇架进行电线积冰的观测,但是,雨凇架资料不能直接用到工程设计上,因为电线悬挂高度、建筑物高度、电线直径、线路所跨越的地理环境等和气象站雨凇架的状况有很大差别。必需研究和掌握电线积冰的小气候规律,才能对雨凇架资料进行订正而加以利用。这是应用气候学的一个课题。

少数发达的国家,早已建立专门的积冰实验站(或称雨凇实验站),对电线积冰的变化和形成条件进行观测,在此基础上,进行资料分析和理论研究。但多数国家没有设立这种实验站,沿用其他国家的某些研究成果,不可能切合本国的地理、气候条件。

我国有相当多的省份都发生电线积冰,较严重的有四川、贵州、云南、湖南、湖北、陕西、山东、河南等省。由于电线积冰问题的重要性,水电部西南电力设计院,于1964年底,在四川省会东县白龙山建立了第一个专门的电线积冰观测站。从1965年1月1日至1969年3月31日进行了四年零三个月的积冰专门观测和常规气象观测,为我国积累了唯一的电线积冰专门观测资料。1976年该院对资料作了初步分析^[1]。这份资料年限虽不长,然而所记录的积冰现象及其中所蕴含的电线积冰的小气候特征,有待于进一步总结。

最近,西南电力设计院勘测大队水文队,向我们提供了这些资料,以便研究。本文便是研究的初步结果。

一、决定电线积冰强度的物理因子

由于电线积冰的形成理论具有实用价值,若干年来,对它有过不断的研究。德罗兹多夫等假定积冰强度与风速、空气的含水量(液态水)成正比,导出了两个高度上积冰直径之比等于高度比的幂函数^[2],即微气象学中所谓乘幂律。萨拉玛齐娜应用量纲分析原理,导出了某一高度积冰长径与2米高度积冰长径的关系^[3]。它比前一文献多引入了电线直径

* 本文于1980年4月10日收到,1980年8月21日收到修改稿。

为参数。滕中林考虑了空气中水滴的密度、直径、风速、风向等因素,提出了积冰厚度随时间变化的方程,简化后得到乘幂律^[4,5]。格鲁霍夫引进了捕获系数和冻结系数,导出了积冰重量的理论公式,并进行了较深入的研究^[6,7,8]。

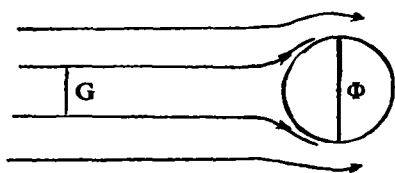


图 1

我们在已有成果的基础上,综合分析决定电线积冰强度的物理因子。

考虑直径为 ϕ 的单位长度电线。作与电线垂直的平面如图 1。

气流接近电线被扰动,其中的过冷却水滴能与电线接触的面积是 ϕ ,未受扰动前这股气流的截面积是 G ,单位体积中的含水量是 w ,风速是 v ,气流与电线的交角是 θ 。若空气中过冷却水滴的运动与气流一致,在时间 t 由 0 至 τ 的时段内,将有质量为 $\int_0^\tau G w v \sin \theta dt$ 的水份凝聚在电线上。

若其中水冻结成冰的百分数为 β ,其余的蒸发掉,那么电线上实际积冰的质量是 $\beta \int_0^\tau G w v \sin \theta dt$ 。

如果气流不受干扰,本来可能有质量为 $\int_0^\tau \phi w v \sin \theta dt$ 的水份冻结在电线上。

现在令积分号内各物理量的符号均代表时段 τ 内的平均值,实际积冰与可能积冰质量之比为

$$\frac{\beta G \tau w v \sin \theta}{\phi \tau w v \sin \theta} = \beta \frac{G}{\phi} = \beta E' = E \quad (1)$$

称 β 为冻结系数,意义如前述; $E' = \frac{G}{\phi}$ 为碰撞系数,是气流受电线干扰后仍凝聚到电线表面上的水份与不受干扰时经过同一电线截面上的水份之比,几何意义是 G 和 ϕ 之比; β 和 E' 的乘积 E 为捕获系数,反映过冷却水滴在电线上惯性积聚效率和冻结效率。在近地面形成雨凇、雾凇天气的条件下,碰撞到电线的水份几乎都能冻结, β 接近于 1。特别当温度低于 -1.5°C , $\beta = 1$ ^[9],这时,捕获系数等于碰撞系数而决定于水滴的半径,运动的惯性参数和判别空气运动特征的雷诺数,主要与电线直径,水滴半径,水滴与电线的相对速度有关。

在电线积冰的实际资料分析中,通常可以假定 $\beta = 1$ 而没有很大的误差,所谓捕获系数 E ,基本上反映碰撞系数,本文也是这样。

在时段 τ 内,电线表面上的积冰平均厚度是 D' ,积冰密度是 γ 。用极坐标求取积冰的截面积,辐角是 ξ ,则积冰质量是

$$4 \times \frac{1}{2} \gamma \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[\left(\frac{\phi}{2} + D' \right)^2 - \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 \right] d\xi = \gamma \pi (\phi D' + D'^2)$$

积冰的形状是异常复杂多样的,积冰截面积的观测和换算都是近似的结果。为了使冰厚与形成积冰的物理因子的关系式较为简洁,我们把冰厚 D 代表电线表面展平后的表面积 $\pi \phi$ 上的平均冰厚,则积冰质量为 $\gamma \pi \phi D$,于是有

$$\gamma\pi\phi D = \beta G\tau w v \sin \theta = \beta E\phi\tau w v \sin \theta$$

$$D = \frac{1}{\pi\gamma} \beta E\tau w v \sin \theta \quad (2)$$

这就是分析积冰资料所遵循的理论公式。

二、会东积冰观测站的环境和观测设备

会东县在四川省南缘, 隔金沙江和云南相望。观测站设在县城东面群峰中较高的白龙山岭上。站址的地理坐标是: 北纬 $26^{\circ}27'$, 东经 $102^{\circ}56'$, 海拔高度 3118 米。测站附近地势尚平坦, 有草(冬季积冰季节枯干), 部分地面已开垦种植。此外, 散有低矮的云南松。

观测站主要的设备是两架相互垂直的模拟电力线路: 一架东西向, 一架南北向, 档距均为 30 米。每架模拟线路张有离地 2 米, 直径 $\phi = 4$ 毫米铁线两根; 离地 6 米, $\phi = 4$ 毫米铁线一根和 $\phi = 8$ 毫米钢绞线一根; 离地 10 米, $\phi = 4$ 毫米铁线一根和 $\phi = 8$ 毫米钢绞线一根; 离地 15 米, $\phi = 4$ 毫米铁线两根, $\phi = 11$ 毫米地线 GJ-50 一根, $\phi = 22$ 毫米导线 LGJQ-240 三根。还安装了绝缘子串、角钢等。

同时进行常规气象观测和雨凇架的积冰观测。

对于电线积冰, 观测积冰的种类, 积冰的长径、短径、围长, 记录积冰发展、维持和崩溃三个阶段的时间。统计了各次积冰上述三个阶段的平均气温、相对湿度、风向、风速。将积冰的长径 a , 短径 b , 通过以下公式换算成冰厚 D

$$D = \frac{1}{2} (\sqrt{ab} - \phi)$$

必要时, 根据围长 l 按下式计算冰厚, 以兹校核

$$D = \frac{1}{2} \left(\frac{l}{\pi} - \phi \right).$$

三、积冰厚度随离地高度的变化

积冰厚度随着离地高度的变化规律, 是将雨凇架观测到的积冰资料, 订正到电线或建筑物高度的依据。

形成积冰的气象因素, 如风速、气温、含水量等都随高度发生变化, 造成冰厚随高度的变化。

1. 冰厚随高度变化的理论分析

我们研究同一时间在高度 z 和参考高度 z_0 上, 两条直径相同的电线上积冰厚度 D_z 和 D_0 的关系。本文将高度 z 上的物理量加下标 z , 参考高度 z_0 上的物理量加下标 0。

由(2)式知

$$\frac{D_z}{D_0} = \frac{E_z \beta_z w_z \tau_z v_z \sin \theta_z}{E_0 \beta_0 w_0 \tau_0 v_0 \sin \theta_0} \quad (3)$$

会东站的资料表明, 两个高度上冰厚的比, 是高度之比的幂函数(参看图 2(a), (b))。

$$\frac{D_z}{D_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^a \quad (4)$$

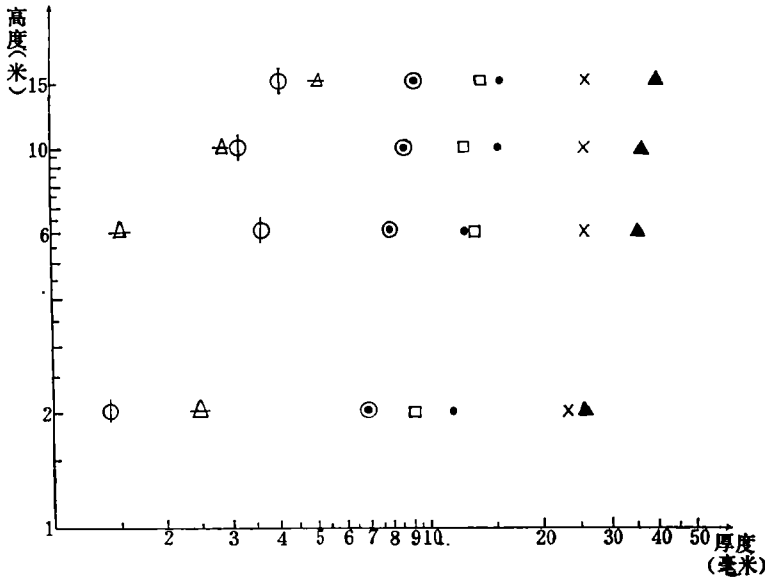


图 2(a) 带有雨淞的混合积冰厚度随高度的变化(东西向电线)

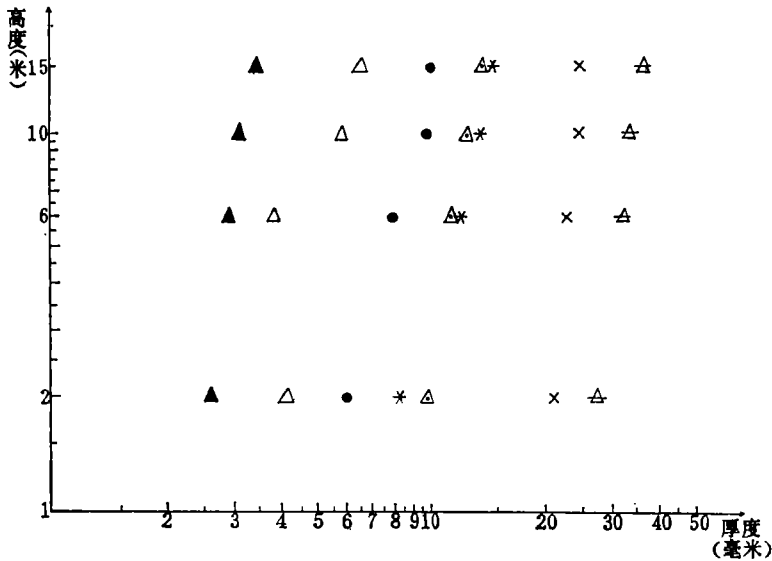


图 2(b) 带有雨淞的混合积冰厚度随高度的变化(南北向电线)

我们现在讨论指数 α 的意义。

z 和 z_0 相距不大例如相差十多米时，两条电线在雾(或云)中的气象条件相近， $\tau_s = \tau_0, \theta_s = \theta_0, \beta_s = \beta_0$ ，这样， α 反映 E, w 和 v 随高度变化的情况。

雾中含水量是随高度增加的^[10]。文献[11]所发表雾淞时含水量在离地 12 米下的资料，可以表示成

$$\frac{w_s}{w_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{p_w}$$

风速随高度变化遵从乘幂律, 记其指数为 p_v , 即

$$\frac{v_z}{v_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{p_v}$$

对于给定的电线直径和一定的气流含水量, 捕获系数 E 基本上决定于风速, 因而也是高度的函数。利用(4)式

$$\frac{E_z}{E_0} = \frac{D_z/D_0}{\frac{w_z v_z}{w_0 v_0}} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{\alpha - p_w - p_v} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{p_E} \quad (5)$$

p_E 是 E 随高度变化乘幂律的指数。于是

$$\frac{D_z}{D_0} = \left(\frac{z}{z_0} \right)^{p_w + p_v + p_E} \quad (6)$$

由(6)式我们知道, 冰厚乘幂律的指数 α 实际上包含了风速、含水量乘幂律的指数, 以及捕获系数随高度的变化特征。

风速和含水量在垂直方向上的差异与大气低层的乱流及对流有密切关系。层结稳定时, 乱流及对流弱, 动量及含水量的上下交换少, 垂直方向差异较大; 反之, 垂直方向差异较小。会东没有风速及温度的梯度观测, 要研究 α 随着乱流强度的变化只能利用既有的常规气象观测资料。现有资料中, 10 米高度上的风速 v 能在某种程度上反映乱流及对流的强弱。 v 大既反映了强盛的对流使高空动量下传, 它本身又造成近地面的动力乱流。所以, v 可在一定程度上反映垂直交换的强弱。可以预期, 大的 v 与小的 α 伴随出现。实际资料证明了这一点。利用这个原理, 可以通过普遍拥有的风速资料大致上估计 α 的相对大小, 避免由于缺乏梯度观测资料所带来的困难。

2. 带有雨淞的混合积冰厚度随高度的变化

会东四个半冬天只观测到 5 次单纯的雨淞积冰, 厚度都很小。更多的雨淞是和雾淞混合积聚的。带有雨淞的混合积冰是会东各种积冰中厚度和密度最大的, 下文简称之为雨淞积冰。

各高度上 $\phi=4$ 电线雨淞积冰记录齐全而且有同时风速记录的共 14 次, 包括南北向线路及东西向线路上各 7 次。将每次积冰在高度 $z=2, 6, 10, 15$ 米上的冰厚 D_z 及相应的高度点到双对数坐标纸上, 多数个例的点子散布接近直线(图 2(a), (b)), 表示遵从乘幂律。

以 2 米为参考高度, 其冰厚为 D_2 。按最小二乘法拟合出每一次个例的 α_g (雨淞积冰的指数下标记 g), 连同 D_2 及形成阶段的风速 v 列于表 1。

α_g 的变化是由不同的乱流强度所造成的, 我们将 α_g 和 v 点绘散布图(图 3)。

按最小二乘法拟合 α_g 和 v 的关系是

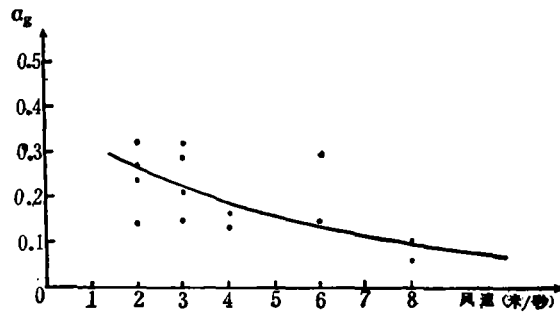
$$\alpha_g = 0.358 e^{-0.175v} \quad (7)$$

风速大对应的 α_g 小。一般情况下, 风速与 D_2 成正比, 故 α_g 与 D_2 也有类似(7)式的关系。带有雨淞的混合积冰厚度随高度及风速变化的关系是

$$\frac{D_z}{D_2} = \left(\frac{z}{2} \right)^{0.358 e^{-0.175v}} \quad (8)$$

表1 雨淞的 α_g

电线方向	2米高度冰厚 D_2 (毫米)	α_g	风速 v (米/秒)
东 西 向	23.2	0.051	8
	25.0	0.288	6
	2.4	0.316	3
	1.4	0.319	2
	9.0	0.205	3
	6.8	0.142	2
	11.6	0.160	4
南 北 向	20.6	0.091	8
	4.1	0.237	2
	27.1	0.135	6
	2.6	0.147	3
	8.2	0.288	3
	6.0	0.270	2
	9.7	0.133	4

图3 α_g 和风速的关系

(8) 式中各量的单位; D 是毫米; z 是米; v 是米/秒。

会东雨淞积冰的平均风速是4米/秒,相应的 $\alpha_g=0.18$,因而

$$\frac{D_z}{D_2} = \left(\frac{z}{2}\right)^{0.18} \quad (9)$$

根据(9)式,得到将 D_2 订正到高度 z 上求取 D_z 的高度订正系数 $K_z = \frac{D_z}{D_2}$ 列于表2。

表2 雨淞积冰厚度的高度订正系数 K_z

z (米)	5	10	15	20
K_z	1.18	1.34	1.44	1.51

国际电工委员会推荐的“架空线路上的冰荷载(草案)”^[12]给出冰厚的高度订正系数与本文作者求得的比较于表3。表中 D 的下标是高度(米),所列出的值是以10米为参

表 3 两种 K_2 的比较

两高度冰厚之比	作者计算	国际电工委员会推荐
D_{15}/D_{10}	1.08	1.02
D_{20}/D_{10}	1.13	c 1.04

考高度的订正系数,由它不难求出以 2 米为参考高度的订正系数。

苏联新比雅基哥尔斯克积冰资料的 $D'' = \frac{a+b}{2}$ 随高度变化,有 $D_{10}''/D_2'' = 2.4^{[13]}$, 比作者所求得的 $D_{10}/D_2 = 1.34$ 大得多。固然 D'' 和 D 的定义不一样,但仍然可见,苏联该地积冰随高度增加比会东的要剧烈得多。

3. 雾凇积冰厚度随高度的变化

雾凇发生的次数比雨凇和混合积冰多,但冰厚一般较小。我们取 2 米高度上雨凇积冰厚度 $D_2 \geq 10$ 毫米而且各高度记录齐全的个例 26 次(东西向 16 次,南北向 10 次),将 D_2 及相应的 z 点在双对数坐标纸上,多数个例点子散布近于直线,但离散度比雨凇大。计算出各次个例乘幂律的指数 α_r (雾凇的指数下标加 r),连同 D_2 及积冰发展阶段 10 米风速 v 列于表 4。

表 4 雾凇的 α_r

电 线 方 向	2 米 冰 厚 D_2 (毫米)	α_r	v (米/秒)	电 线 方 向	2 米 冰 厚 D_2 (毫米)	α_r	v (米/秒)
东西向	13.0	0.231	2	东西向	17.3	0.125	2
	13.2	0.136	1		17.4	0.028	3
	11.4	0.168	4		18.6	0.144	3
	11.7	0.051	4		南北向	10.2	0.183
	18.2	0.123	4	18.3		0.133	1
	18.8	0.053	7	14.1		0.247	4
	13.0	0.112	3	9.7		0.165	4
	22.5	0.184	4	20.8		0.126	3
	13.5	0.065	5	13.7		0.200	5
	20.9	0.385	0	10.2		0.198	2
	10.3	0.140	2	10.6		0.126	3
	33.6	0.021	5	14.9		0.195	3
	13.9	0.030	2	16.7		0.049	7

与雨凇相似, α_r 随 v 的变化近似指数函数,拟合出经验公式为

$$\alpha_r = 0.233 e^{-0.219v} \quad (10)$$

因此雾凇积冰厚度随高度及风速的变化为

$$\frac{D_z}{D_2} = \left(\frac{z}{2}\right)^{0.233 e^{-0.219v}} \quad (11)$$

会东 2 米高度雾凇冰厚 $D_2 \geq 10$ 毫米的个例的平均风速为 3.3 米/秒, 相应的 $\alpha_r = 0.11$ 。会东雾凇积冰厚度随高度变化的关系为

$$\frac{D_z}{D_2} = \left(\frac{z}{2}\right)^{0.11} \quad (12)$$

4. 最严重一次积冰冰厚随高度的变化

会东四年多积冰资料中, 最严重一次积冰是 1966 年 11 月 29 日持续至 12 月 3 日的雨淞和雾淞混合积冰。

这次积冰只有雨淞架 2 米高和模拟线路 15 米高度的不完全记录, 故未加入前述经验公式的拟合。

南北向电线雨淞架上冰厚 80 毫米, 15 米高 $\phi=11$ 毫米电线冰厚 72 毫米, $\phi=22$ 毫米电线冰厚 76 毫米。据记载 15 米高度积冰有边发展边脱落的现象, 所测得的不是最大值。东西向电线雨淞架上冰厚 87 毫米, 15 米高度 $\phi=4$ 毫米电线冰厚 77 毫米。

积冰发展阶段风向 S, 风速 4 米/秒, 气温 -5.9°C , 相对湿度 95%。崩溃阶段风向 SW, 风速 5 米/秒, 气温 -0.1°C , 相对湿度 100%。

这次积冰厚度的垂直分布, 上下差别不大。这现象与前面所研究的结论一致。前已指出, 风速大则积冰垂直差别小, 而 2 米冰厚与风速是成比例的, 所以, 2 米冰厚大则积冰垂直差别小。

强的积冰是在一定天气形势下产生的, 不是局地的现象。这次积冰的同时, 隔江的云南省东川市海子头地区的电力线上积冰也很严重, 在海拔 2743 米地方的电力线上观测到积冰长径达 250 毫米, 可见积冰之剧。

四、风与电线交角和积冰厚度的关系

电力、通讯线经过峡谷、风口, 或者线路与积冰时的风向近于正交, 电线积冰有所加剧。因此, 了解风与电线交角和积冰厚度的关系, 对于线路的规划设计有实际意义。

我们以同一高度、同一直径但走向互相垂直的两条电线的冰厚来研究这个问题。

令南北向电线冰厚为 D_n , 东西向电线冰厚为 D_e , $K_e = \frac{D_e}{D_n}$, 风向与南北向电线的交角为 θ_e 。取高度 15 米, $\phi=22$ 毫米, 雾淞积冰厚度超过 10 毫米的记录 16 次来分析。将风速 v 相同的记录分为一组, 以便显示出风向的作用。计算每一个例的 K_e , θ_e 。对每组分别统计出 $\theta_e \geq 45^{\circ}$ 和 $\theta_e < 45^{\circ}$ 时 K_e 的平均值 \bar{K}_e 列于表 5。

表 5 风向与 K_e 的关系

风速(米/秒)	个例次数	$\theta_e \geq 45^{\circ}$		$\theta_e < 45^{\circ}$	
		\bar{K}_e	\dot{K}_e	\bar{K}_e	\dot{K}_e
2	3	1.47	0.26	0.95	-0.26
3	4	1.03	0.04	0.95	-0.04
4	4	1.49	0.20	1.09	-0.20

一组之内几个例的 θ_e 并不是均匀分布的, 以致一组的 K_e 的总平均 \bar{K} 并不等于 1。对每一组, 将 $\theta_e \geq 45^{\circ}$ 的 \bar{K}_e 对 \bar{K} 求距平 \dot{K}_e , $\theta_e < 45^{\circ}$ 的也求出距平 \dot{K}_e , 已列入表

5. 它表示由于风向与电线交角大小所造成 $\overline{K_d}$ 的偏差。

这个统计表明,对于雾凇积冰,电线与积冰时风向的交角超过 45° 的,其冰厚比小于 45° 的要大 4~26%。

雨凇积冰厚度与交角的关系,统计规律不如雾凇明显,可能是雨凇的沉积带有较大的铅直分速,因而冰厚与水平面上的 θ_s 关系不好。

五、积冰厚度与电线直径的关系

电线直径对积冰厚度发生影响是由于以下原因:(1) 粗电线对气流的干扰较大,气流中的过冷却水滴在距离电线较远时就开始随气流改变运动方向以绕过电线,因而电线单位面积上所捕获的水滴比较少。反之,细电线单位面积上所捕获的水滴比较多。由于这一作用,粗电线的冰厚比细电线薄。当然,粗电线的表面积较大,单位长度上的积冰荷载仍比细电线要重。(2) 积冰首先形成在电线迎风面上,产生力矩,使电线扭转。粗电线扭转得少,积冰主要在迎风一侧,与风正交的截面积增加不多。细电线扭转得多,积冰可裹复电线整个表面,与风正交的截面积增加得多。这一作用也使细电线的冰厚比粗电线大。

从(2)式出发,同一高度上两种不同直径 ϕ 和 ϕ_d 的电线的冰厚之比可以表示为

$$K_\phi = \frac{D_\phi}{D_d} = \frac{E_\phi}{E_d} \quad (13)$$

它主要决定于捕获系数之比。捕获系数的理论计算非常复杂,最简单的实验式也需要通过电线直径、水滴半径或气流含水量、水滴相对于电线的运动速度(一般取风速)来计算。然而会东没有滴谱或含水量观测,无从计算,我们利用实测资料求出冰厚和电线直径的关系。

取雨凇积冰在 15 米高度上三种直径 ($\phi=4, 11, 22$ 毫米)电线的 14 次观测资料,计算每次积冰时直径 ϕ 的电线的冰厚 D_ϕ 对直径 4 毫米电线的冰厚 D_4 之比,记为 K_ϕ 。由实际资料得出以下关系

$$K_\phi = \frac{D_\phi}{D_4} = P + Q \log \phi \quad (14)$$

式中 $Q < 0$, 表明电线越粗, K_ϕ 越小, D_ϕ 越小。

当 $\phi=4$ 毫米, 应有 $K_\phi = \frac{D_\phi}{D_4} = 1$ 。根据这一条件决定了

$$P = 1 - 0.602 Q$$

故

$$K_\phi = 1 + Q(\log \phi - 0.602) \quad (16)$$

K_ϕ 既然反映捕获系数的影响, Q 必与风速有关。我们统计出不同风速条件下 Q 的平均值,列于表 6。

Q 的绝对值在风速 3~4 米/秒时较大,冰厚随电线直径加粗而很快减小。风速更大或更小时 Q 的绝对值减小,冰厚随电线直径的变化很小。格鲁霍夫根据苏联奥布宁斯克气象桅杆上观测的积冰和气象资料,计算出捕获系数随风速的变化曲线,当风速为 3~5

表 6 Q 与风速 v 的关系

v (米/秒)	2	3	4	5	6
Q	-0.20	-0.77	-0.49	-0.15	-0.05
观测次数	4	4	2	2	2

米/秒时, 捕获系数最大, 风速更大或更小时捕获系数都较小^[8]。| Q |值和捕获系数随风速变化的这种相似性, 可能是有内在联系的。

表 6 中 14 次观测的 Q 的平均值是 -0.37。利用这个 Q 值, 以 5 毫米直径电线的冰厚为参考冰厚 D_5 , 求出不同直径 D_i 与 D_5 的比值 K_i , 列于表 7, 就是对雨淞架冰厚的直径订正系数。

表 7 冰厚的直径订正系数 K_i

ϕ (毫米)	10	15	20
K_i	0.89	0.82	0.77

参 考 资 料

- [1] 水利电力部西南电力设计院, 《会东第三气象站资料整理分析》(油印本), 1976 年 5 月。
- [2] Дроздов, О. А., Руднева, А. В., К вопросу об изменении интенсивности отложения гололеда на проводах с высотой, Труды ГГО, вып. 57 (119), 1956。
- [3] 萨拉玛齐娜, И. И., 根据地面资料计算各高度上电线积冰的强度(张之琦译), 《天气》, 1957 年 1 月。
- [4] 滕中林, 电线结冰厚度随高度的变化, 《天气月刊》, 1959 年 11 月。
- [5] 滕中林, 架空线路的结冰问题, 《全国应用气候会议论文集》, 1977 年。
- [6] Глухов, В. Г., Метеорологические условия образования гололеда на высотных сооружениях, Труды ГГО, вып. 311, 1972。
- [7] Глухов, В. Г., Заварина, М. В., О точности косвенного метода расчета гололедных нагрузок на высотные сооружения, Труды ГГО, вып. 361, 1976。
- [8] 格鲁霍夫, В. Г., 利用高空观测资料估算高耸建筑物的雨淞荷载(陈万隆译), 《应用气候和大气污染论文集》, 1976, 10。
- [9] Мазин, И. П. Физические основы обледенения самолетов, М., Гидрометеиздат, 1957。
- [10] 梅森, В. J., 《云物理学》(中国科学院大气物理研究所译), 科学出版社, 1978。
- [11] Бучинский, В. Е., Влияние защитных лесонасаждений на уменьшение интенсивности обледенения проводов [воздушных линий связи и электропередачи, Труды Всесоюзного Научного Метеорологического Совещания, Том. IV。
- [12] 国际电工委员会第 11 专业委员会, 关于架空线路的建议“架空线路上的冰荷载(草案)”, 《管理工作通讯》, (云南省电力局设计处译), 1973 年 4 月。
- [13] Заварина, М. В., «Строительная Климатология» Гидрометеиздат, 1976。

ON THE MICROCLIMATOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ICING ON WIRES

Tan Guan-ri

(The Yunan University)

Abstract

Based on the data of a special icing observatory, the following results are found: The icing intensity varies with height; the icing intensity depends upon the angle between the wind direction and the wire; the icing intensity varies with the diameter of the wire.