

青海东部电线积冰的初步观测分析*

张国庆 张加昆 祁栋林 马明亮 陈宗果 贾生海

(青海省气象科学研究所, 西宁 810001)

1 观测及资料处理

① 观测

根据青海省电力部门关于输电线路积冰灾害的资料分析,青海出现积冰的时间段主要分布在春季3—4月及秋末10—11月份,出现的地区大部分在青海东部黄河与湟水两条水系之间的山区以及祁连山东段海拔较高的地区。基于时间和地区的分布特征,确定观测点设立在黄河与湟水两条水系之间山区的盘道地区,观测点(36°38' N, 101°18' E)海拔高度3150 m,所在区域较为开阔,下垫面多为草地,间有耕作农田;观测时间为3—4月、10—12月;观测项目按照《地面气象观测规范》进行电线积冰南北、东西两个方向积冰的长径、短径、重量、起止时间及地面诸气象要素风向、风速、温度、湿度、气压、降水的连续观测。共进行了2003年3—4月、10—12月及2004年3—4月3个时段的观测,取得20次较为

完整的积冰观测资料。

② 资料处理

电线积冰的观测资料,由于积冰外形很不规则,所以在处理中总有不尽人意的缺陷存在,已有专家对此进行过详细的论证,提出了多种处理方法。本文中采用假定积冰为椭圆形的处理方法,则有:

$$\text{积冰厚度 } b = \frac{1}{2} (\sqrt{ac} - \phi) \quad (1)$$

$$\text{积冰体积 } V = \frac{\pi}{4} (D^2 - \phi^2) \quad (2)$$

$$\text{积冰密度 } \rho = \frac{W}{V} \quad (3)$$

其中 $D = \sqrt{ac}$, 式(1)~(3)中, a, c 分别为实测积冰的长、短径, W 为实测积冰重量, ϕ 为导线直径。

③ 积冰的观测特征

对盘道观测点的电线积冰资料统计如表1。积冰形成与降水过程关系密切,降水的类型和降水时的

表1 积冰观测特征

时间	S-N方位		E-W方位		天气现象	积冰类型	温度范围/℃
	积冰重量 /g	积冰密度 /(g·cm ⁻³)	积冰重量 /g	积冰密度 /(g·cm ⁻³)			
2003-03-14	76	0.1157			雾	雾凇	-7.2~-3.1
2003-03-17	56	0.2742	44	0.2918	雾	雾凇	-7.7~-4.4
2003-04-06	100.4	0.3805	75.2	0.4987	雪	湿雪型	-2.6~-1.2
2003-04-13	75.2	0.3683	50.4	0.3342	雪、雾	雾凇	-9.0~-8.4
2003-04-18	75.2	0.2850	25.2	0.4011	雪	湿雪型	-5.6~-1.3
2003-10-01			24	0.3820	雨夹雪	湿雪型	-1.1~-0.9
2003-10-02	24	0.3820	52	0.3448	雨夹雪	湿雪型	-2.0~-0.2
2003-10-04	52	0.8276	52	0.5016	雪	湿雪型	-0.5~0.2
2003-10-10	56	0.1698	60	0.1492	雪	湿雪型	-1.3~-0.4
2003-10-12	52	0.5016	96	0.1698	雪	湿雪型	-3.2~-1.5
2003-10-13	60	0.3979	152	0.1034	雪	湿雪型	-3.3~0.1
2003-11-07	52	0.8276	76	0.7331	雪	湿雪型	-3.3~-0.6
2003-11-08	24	0.8488	52	0.8276	雪	湿雪型	-3.5~-0.9
2003-11-20	62	0.1980	76	0.2880	雪、雾	雾凇	-8.8~-4.0
2003-11-21	52	0.1293	36	0.2387	雪、雾	雾凇	-9.8~-6.8
2004-03-01	52	0.3448	52	0.5016	雪、雾	雾凇	-11.0~-7.3
2004-03-21	52	0.1293	52	0.2546	雪、雾	雾凇	-6.9~-3.9
2004-03-24	52	0.1576	52	0.1970	雪、雾	雾凇	-6.4~-5.4
2004-04-07	56	0.1165	40	0.1516	雪、雾	雾凇	-9.9~-4.1
2004-04-13	76	0.1157	52	0.1293	雪、雾	雾凇	-8.2~-3.4

青海省电力局“青海省输电线路积冰特征的观测研究”项目资助。

2005-09-27 收到, 2006-05-31 收到再改稿。

温度范围决定着积冰形成的类型,所以该地区积冰类型主要是湿雪型和雾凇型。观测期间共出现电线积冰 20 次,其中湿雪型和雾凇型各出现 10 次;湿雪型积冰重量在 24.0~152.0 g 之间,密度在 0.1034~0.8488 g/cm³ 之间;雾凇型积冰重量在 40.0~76.0 g 之间,密度在 0.1157~0.5016 g/cm³。从重量或者密度都可以看出,湿雪型变化幅度较大,而雾凇型变化幅度较小。各月的平均密度中,11 月的平均密度最大,为 0.5114 g/cm³,其次为 10 月 0.3461 g/cm³,4 月 0.2781 g/cm³,3 月最小,为 0.2518 g/cm³;大部分积冰密度出现在 0.1~0.4 g/cm³ 之间(见表 2),出现频数最多的在 0.1~0.2 g/cm³ 之间;受气流方向的影响,N-S,E-W 方位积冰的重量有差异。

④ 积冰起讫及持续时间

对出现积冰的时间分析表明,2003 年积冰在

表 2 积冰密度频数分布

值域	$\rho < 0.1$	$0.1 \leq \rho < 0.2$	$0.2 \leq \rho < 0.3$	$0.3 \leq \rho < 0.4$	$0.4 \leq \rho < 0.5$	$0.5 \leq \rho < 0.6$	$0.6 \leq \rho < 0.7$	$0.7 \leq \rho < 0.8$	$0.8 \leq \rho < 0.9$
频数		14	6	8	2	3		1	4

表 3 出现积冰时段风向出现频数

风向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	C
频数	2	4	10	16	35	74	24	22	9	9	3	3	6	6	4	1	18

表 4 出现积冰时段风速段出现频数

风速/ (m·s ⁻¹)	<0.3	0.3~0.6	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2.1	2.1~2.4	2.4~2.7	2.7~3.0	3.0~3.3	3.3~3.6	3.6~3.9	3.9~4.2	4.2~4.5	4.5~4.8	4.8~5.1
频数	18	16	15	40	40	54	28	20	0	5	4	1	3	3	2	1	1

2 积冰强度的影响因子分析

影响输电线路积冰强度的主要因子是积冰过程的持续时间、风向、风速等,在此选择积冰重量与上述影响因子进行分析。

① 积冰持续时间对积冰重量的影响分析

由于两种类型积冰形成于不同的天气现象,具有较大的差异;雾凇型积冰主要是由于雾滴的冻结形成导线表面的积冰,雾的生成到消散是一个连续的过程,所以雾凇型积冰的持续时间对于积冰重量影响较大;湿雪型积冰主要是由雪降落到近地层较高的环境温度下,部分融化或通过过冷云雾滴依附到导线上冻结形成积冰,其积冰的过程主要是在降雪过程中完成,而青海高原上的降水天气,主要的降水云层是层积云,降水具有间歇性特征,由此持续时间对湿雪型积冰的影响较小。

② 平均风速对积冰重量的影响分析

3,4 月共出现 5 次,10,11 月出现 10 次,2004 年 3,4 月出现 5 次;开始出现积冰的时间大部分在夜间,个别在清晨,从 20:00 到次日 06:00 均有出现,持续时间从 3~4 h 到 21~22 h;积冰结束时间大部分在 11:00 以后,由于温度升高或降水天气结束,积冰过程停止,个别的可延续到晚间结束。

⑤ 积冰出现时段的气象要素特征

对气象要素进行分析表明,出现积冰时对应的温度范围在 0℃~-11.0℃ 之间,湿度范围在 88%~100% 之间,风向以偏东风居多,由表 3 可以看出,最多风向频数出现在 ESE 方位,其次为 E,SE,SSE;风速在 0.0~5.0 m/s 之间,各风速段中出现最多的是 1.5~1.8 m/s 之间,其次是 1.2~1.5 m/s,0.9~1.2 m/s(表 4)。

在积冰物理模型中, $W_m = \beta AB \tau V \sin \theta$ 。其中 W_m 为积冰重量, β 为冻结系数, A 为未受扰动前气流截面积, B 为单位体积液态水含量, τ 为积冰时段, V 为水平风速, θ 为气流与电线夹角。积冰重量 W_m 与风速的分量 $V \sin \theta$ 成正比;对平均风速分量与积冰重量的关系进行统计分析表明,两种类型的积冰重量均随风速的增大而增大,增长的幅度上,湿雪型较雾凇型大,风速越大,湿雪型增长越快;也即说明风速对湿雪型积冰增长的影响较大。

③ 风向夹角对积冰重量的影响

风向夹角是指风向与南北向积冰观测导线之间的夹角,已有专家对研究区域中的导线积冰分析了风向夹角与积冰厚度的关系,指出风向夹角对积冰形成的影响较大。将南北向与东西向积冰重量之比记为 k ,风向夹角按照积冰时段内的平均风向记为 θ ;分析 k 与 θ 之间的关系,如图 1 所示。两种类型

积冰的 k 值随风向夹角增大而增大,并且湿雪型的变化速度和范围远大于雾凇型,表明湿雪型积冰受风向的影响较大,而雾凇型较小。有人对会东地区雨凇型积冰的分析认为,雨凇型积冰厚度与风向夹角的关系不如雾凇型明显,可能是雨凇的沉积带有较大的铅直风速所导致。而显然雪的铅直降落速度要小于雨滴,故风向对于湿雪型积冰的影响较大,形成 k 值的较大幅度变化。需要指出的是,在本文的分析中,受资料的限制,未能对相同风速下的积冰重量比值 k 与风向夹角的关系进行分析,所以这个结果只说明了存在这种趋势,而同风速下的影响程度需要更多的观测资料进行分析。

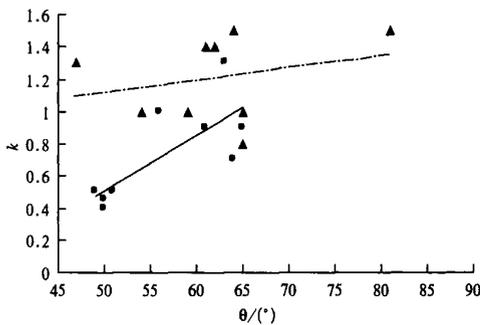


图1 风向夹角 θ 与 k 值的关系

(点划线为雾凇型积冰拟合线, \blacktriangle 为雾凇型积冰观测数据;
实线为湿雪型积冰拟合线, \bullet 为湿雪型积冰观测数据)

3 积冰的成因分析

① 降水天气系统

对盘道地区发生的 20 次输电线路积冰过程分析表明:天气系统过程对形成积冰具有决定性影响,积冰过程往往伴随着降水天气系统而形成,而青藏

高原东部在春季初期和秋季末期处于冬季冷高压和夏季暖低压的过渡期,降水往往是由系统沿河西走廊过境后倒灌形成的,所以在表 3 中,风向主要集中在 ESE 方位;降水天气过程使空气中的相对湿度趋于饱和,冷空气过境形成的降温使海拔较高地区温度降至 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,降水形式主要表现为湿雪,遇到导线后极容易凝结形成积冰。此外,降水天气系统的持续时间决定着积冰的持续时间。

② 地形的作用机制

地形对气候因子的影响,反映在电线积冰问题上,主要在于影响输送气流使其改向或使其抬升。青海东部由于地形起伏,沟壑纵横,黄河与湟水在青海东部并流向东,在这一区域形成了较大的分水岭,气流从黄河河谷倒灌进入后,受地形的影响,在河谷弯曲的地方,沿迎风坡抬升,形成水汽汇聚,使这一区域降水增大,并常常形成雾,从而在这一区域形成较为严重的覆冰区。

4 结论

1) 青海东部积冰观测特征表明,积冰为湿雪型和雾凇型,重量在 $24.0\sim 152.0\text{ g}$ 之间,密度在 $0.1034\sim 0.8488\text{ g/cm}^3$ 之间,湿雪型密度大于雾凇型;出现时段多在晚间至清晨,持续时间为 $3\sim 22\text{ h}$;偏东风居多, ESE 为最多风向;风速在 $0.0\sim 5.0\text{ m/s}$ 之间。

2) 影响积冰重量的因子中,积冰持续时间对雾凇型影响较大;而风向与风速在湿雪型积冰中起主要作用。

3) 天气系统过程和青海东部分水岭地形对形成积冰具有决定性影响,系统的持续时间决定着积冰的持续时间。